

DONNÉES RELATIVES
A L'ÉTUDE DES TREMBLEMENTS DE TERRE
A FOYER PROFOND¹

PAR B. GUTENBERG

Balch Graduate School of the Geological Sciences
California Institute of Technology, Pasadena, California

Contribution n° 212

ET C. F. RICHTER

Carnegie Institution of Washington Seismological Research
Pasadena, California

Avec deux figures

SOMMAIRE

- I. Introduction.
- II. Méthodes pour le calcul des durées de trajet dans le cas des foyers profonds.
- III. Valeurs calculées des durées de trajet ou temps de propagation.
- IV. Détermination des épicentres.
- V. Détermination de l'heure origine.
- VI. Calcul de la profondeur.
- VII. Interprétation d'un séismogramme isolé.
- VIII. Application des méthodes à des secousses choisies.
- IX. Résultats préliminaires relatifs aux secousses étudiées.

1. Le mémoire original en langue anglaise a été publié dans le *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 26 Number 4, october 1936.
[Note du traducteur E. Rothé.]

RÉSUMÉ

Les temps de propagation des séismes normaux sont pris comme bases pour le calcul des temps de propagation des séismes dont les foyers se trouvent à des profondeurs allant jusqu'à 800 km. Ces temps sont présentés sous forme de tableaux en même temps que certaines données accessoires. Vient ensuite une discussion théorique pour les distances critiques auxquelles coïncident pP et PP, sP et SP, etc..., et en dessous desquelles ces phases ne doivent pas exister. Ces distances ne sont pas des points focaux (caustiques). Des méthodes sont données pour déterminer l'épicentre, la profondeur et l'heure origine et sont appliquées à un groupe choisi de séismes. Les résultats des différentes méthodes concordent très bien entre eux et avec les données calculées des temps de propagation. Un rapport préliminaire est donné sur certaines caractéristiques des séismes étudiés. Le mécanisme des tremblements de terre à foyers profonds est examiné brièvement; et l'on arrive à la conclusion que les tremblements de terre normaux et profonds sont probablement dus aux mêmes forces.

I

INTRODUCTION

Dans une série de mémoires récents (1) (2) (3), les auteurs ont présenté un ensemble de données et de conclusions se rapportant aux ondes séismiques dans les tremblements de terre normaux. Dans le présent exposé, on renverra à ce sujet aux mémoires : *On seismic Waves*, I, II, III. Avant de procéder à des recherches sur les séismes à foyers profonds, il convient de déduire certaines conclusions fondamentales des résultats trouvés dans l'étude des tremblements de terre normaux. C'est le but du présent exposé. Les résultats de la

théorie pourront alors être comparés à ceux de l'observation dans les cas de foyers profonds.

Quelques conclusions préliminaires pour les secousses à foyer profond ont été données dans une note antérieure (4) ; les mêmes matériaux d'étude ont été revus ici et étendus.

II

MÉTHODES POUR LE CALCUL DES DURÉES DE TRAJET DANS LES CAS DE FOYERS PROFONDS

Tout calcul des temps de propagation pour un choc se produisant à une profondeur donnée exige la connaissance de la loi de variation des vitesses des ondes avec la profondeur, comme cela a été traité dans *On seismic Waves*, II.

Le procédé direct comporte l'intégration le long de chaque trajectoire de la source à la surface ; il est laborieux, et c'est pourquoi nous avons utilisé des méthodes qui réduisent le nombre des calculs directs nécessaires. Si la courbe des temps de propagation est connue pour les ondes ayant leur origine à la profondeur A , on obtient les temps correspondants pour une profondeur B supérieure à A en retranchant de la distance épacentrale Δ l'intégrale

$$\int_A^B \frac{\tan i}{r} dr$$

et de la durée correspondante de trajet l'intégrale

$$\int_A^B \frac{dr}{v \cos i}$$

où i est l'angle d'incidence, r le rayon, v la vitesse. Les valeurs de ces corrections dépendent seulement de la nature (longitudinale ou transversale) sous laquelle l'onde part de la source et de sa direction initiale (valeur initiale de l'angle i).

De cette manière, il suffit de construire deux tables de corrections, l'une pour P, l'autre pour S. Les résultats obtenus pour P seront directement applicables aux phases pP, PP, pS, PS, PKS, etc.¹; ceux relatifs à S seront directement applicables à S, sS, SS, sP, SP, SKP, SKS, etc.

Cette méthode permet de déduire les durées de trajet pour les foyers profonds des durées normales de trajet, dans tous les cas où des tables relatives aux phases en question ont été calculées pour des séismes normaux. Comme de telles tables n'existent pas pour les phases telles que pP, sP, pS, etc., des tables spéciales devront être construites pour le but qu'on se propose ici, d'où la nécessité d'employer une méthode un peu différente (voir Note additionnelle).

Pratiquement, les temps pour pP seront déduits de ceux de P. Les corrections de temps et de distance qui sont additives consistent dans la somme des deux intégrales de *O* à *A* et de *O* à *B*, les intégrales ayant la même forme que celles ci-dessus. Pour traiter le cas des ondes mixtes telles que pS ou sP, l'intégrale de *O* à *A* devra être prise pour le type d'onde qui suit la première réflexion et celle de *O* à *B* pour le type d'onde partant du foyer. Pour les ondes qui sont purement longitudinales ou purement transversales, les corrections de temps et de distance à appliquer aux durées normales de propagation (pour une profondeur supposée de 25 km.) sont données dans les tables I à IV inclusivement, pour 0 à 800 km. de profondeur focale et pour des intervalles de 100 km. Les tables marquées *a*) donnent les valeurs des intégrales de *A* à *B* (*A* 25 km., *B* variable) et celles marquées *b*) les valeurs des sommes des intégrales de *O* à *A* et de *O* à *B*, en admettant que les ondes sont du même type dans les deux intégrations. Les corrections pour les ondes mixtes peuvent être déduites des deux tables par une combinaison appropriée. Ces tables ont été calculées à l'aide des résultats indiqués dans *On seismic Waves*, II.

1. La lettre K indique dans la notation Gutenberg le passage à travers le noyau : ainsi PKS = P_cP_cS. Voir notamment fasc. 10 (communications présentées à la Conférence de Lisbonne), p. 96.

Au lieu de l'angle d'incidence, les corrections dans ces tables sont données en fonction de la quantité $\frac{1}{V_{40}}$, qui est l'inverse de la vitesse *apparente* de l'onde à la surface inférieure de l'écorce que l'on situe à une profondeur de 40 km.

Les valeurs de cette quantité ont été calculées et utilisées dans *On seismic Waves*, II.

Lorsqu'on cherche les temps de propagation à l'aide des tables de corrections, il faut faire très attention au phénomène du minimum de distance pour les phases réfléchies. (Voir le paragraphe suivant.)

Une vérification précieuse et sensible des temps de propagation, lorsqu'ils sont utilisés comme fonction de la distance et de la profondeur focale, consiste dans la relation

$$\left(\frac{\partial t}{\partial r}\right)^2 + \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial t}{\partial \theta}\right)^2 = \frac{1}{v^2}$$

r, θ sont des coordonnées polaires et v est la vitesse à la profondeur considérée ; dans le premier terme, $\frac{\partial t}{\partial r}$ doit être remplacé par $\frac{\partial t}{\partial h}$, où h est la profondeur. L'usage de cette relation est facilité par le calcul à partir de la distribution connue des vitesses de la table des valeurs correspondantes de $\frac{\partial t}{\partial \theta}$ et $\frac{\partial t}{\partial h}$. (Table V.)

TABLE I

Corrections des temps de propagation en secondes
pour les ondes longitudinales (voir le texte).

a) Ondes ayant leur impulsion vers le bas.

$1/\bar{V}_{40}$ sec./km.	Profondeur du foyer en km.								
	0	100	200	300	400	500	600	700	800
0.00	4	-10	-23	-35	-46	-57	-67	-76	-85
0.02	4	-10	-23	-35	-46	-57	-67	-77	-86
0.03	4	-10	-24	-36	-47	-58	-68	-79	-89
0.04	4	-10	-24	-36	-48	-60	-71	-82	-92
0.05	5	-11	-25	-37	-50	-63	-74	-86	-97
0.06	5	-11	-26	-39	-53	-66	-79	-92	-106
0.07	5	-12	-28	-42	-57	-71	-87	-104	-123
0.08	5	-13	-30	-45	-63	-81	-102		
0.09	5	-14	-32	-51	-75	-98			
0.10	6	-15	-35	-61	-98				

b) Ondes ayant leur impulsion vers le haut.

0.00	18	31	43	54	64	74	84	94
0.02	19	31	43	55	65	75	85	95
0.03	19	32	44	56	67	77	87	97
0.04	19	33	45	58	69	80	91	101
0.05	20	34	47	60	72	84	96	107
0.06	20	35	49	62	76	89	102	115
0.07	21	37	51	65	81	97	113	132
0.08	22	39	55	72	91	111		
0.09	24	43	63	87	109			
0.10	26	48	73	109				

TABLE II

Corrections de distance en degrés
pour les ondes longitudinales (voir le texte).

a) Ondes ayant leur impulsion vers le bas
(notation commençant par P).

$\frac{1}{\sqrt{V_{40}}}$ sec./km.	Profondeur du foyer en km.								
	0	100	200	300	400	500	600	700	800
0.01	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
0.02	0.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.3	-1.5
0.03	0.0	-0.2	-0.4	-0.7	-0.9	-1.2	-1.6	-2.0	-2.4
0.04	0.1	-0.2	-0.5	-0.9	-1.2	-1.7	-2.2	-2.7	-3.3
0.05	0.1	-0.3	-0.7	-1.1	-1.6	-2.2	-2.9	-3.6	-4.4
0.06	0.1	-0.4	-0.9	-1.4	-2.1	-2.8	-3.7	-4.7	-5.8
0.07	0.1	-0.5	-1.1	-1.8	-2.6	-3.6	-4.8	-6.1	-7.9
0.08	0.1	-0.6	-1.3	-2.3	-3.3	-4.7	-6.6		
0.09	0.1	-0.7	-1.5	-2.9	-4.6	-6.6			
0.10	0.2	-0.9	-2.2	-3.7	-6.8				

b) Ondes ayant leur impulsion vers le haut
(notation commençant par p).

0.01	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.02	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5
0.03	0.2	0.5	0.7	1.0	1.3	1.7	2.0	2.4
0.04	0.3	0.7	1.0	1.4	1.8	2.3	2.8	3.4
0.05	0.4	0.9	1.3	1.8	2.4	3.0	3.7	4.5
0.06	0.5	1.1	1.6	2.2	3.0	3.9	4.8	5.9
0.07	0.7	1.3	2.0	2.8	3.7	4.9	6.3	8.2
0.08	0.8	1.5	2.4	3.5	4.9	6.7		
0.09	1.0	1.9	3.1	4.9	6.8			
0.10	1.2	2.5	4.1	7.1				

TABLE III

Corrections des temps de propagation en secondes
pour les ondes transversales (voir le texte).

a) Ondes ayant leur impulsion vers le bas.

$1/\bar{V}_{40}$ sec./km.	Profondeur du foyer en km.								
	0	100	200	300	400	500	600	700	800
0.00	7	-17	-40	-61	-82	-101	-120	-137	-154
0.04	7	-17	-40	-62	-84	-104	-123	-140	-157
0.06	7	-17	-41	-64	-86	-107	-127	-146	-164
0.08	8	-18	-42	-66	-88	-111	-132	-152	-172
0.09	8	-18	-43	-67	-90	-113	-135	-156	-177
0.10	8	-19	-44	-69	-93	-116	-138	-162	-184
0.11	8	-19	-45	-71	-96	-119	-144	-168	-194
0.12	8	-20	-47	-73	-99	-125	-151	-177	-207
0.13	9	-21	-49	-76	-102	-132	-159	-188	-224
0.14	9	-22	-51	-80	-109	-141	-172		
0.15	9	-23	-54	-84	-117	-152			
0.16	9	-24	-57	-90	-126	-169			
0.17	9	-26	-62	-97					
0.18	10	-28	-67	-109					
0.19	10	-31	-76	-135					

b) Ondes ayant leur impulsion vers le haut.

0.00	31	54	75	96	115	134	151	168
0.04	31	55	77	99	118	137	155	172
0.06	32	56	79	100	121	142	160	178
0.08	33	58	81	102	125	146	167	187
0.09	34	59	83	105	127	150	171	192
0.10	35	60	85	108	131	155	177	199
0.11	36	61	87	111	136	161	184	210
0.12	37	63	90	115	142	168	193	223
0.13	38	65	93	120	149	176	205	241
0.14	39	68	96	126	158	189		
0.15	40	71	101	134	170			
0.16	42	75	108	144	186			
0.17	44	80	118					
0.18	47	86	131					
0.19	50	95	145					

TABLE IV

Corrections de distance en degrés
pour les ondes transversales (voir le texte).

a) Ondes ayant leur impulsion vers le bas
(notation commençant par S).

$1/\bar{V}_{40}$ sec./km.	Profondeur du foyer en km.								
	0	100	200	300	400	500	600	700	800
0.02	0.0	-0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
0.04	0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-1.2	-1.4	-1.7
0.06	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-1.0	-1.3	-1.7	-2.1	-2.6
0.07	0.1	-0.2	-0.5	-0.8	-1.2	-1.6	-2.0	-2.6	-3.2
0.08	0.1	-0.2	-0.6	-1.0	-1.4	-1.9	-2.4	-3.0	-3.7
0.09	0.1	-0.3	-0.7	-1.2	-1.6	-2.2	-2.8	-3.5	-4.3
0.10	0.1	-0.3	-0.8	-1.3	-1.9	-2.5	-3.3	-4.1	-5.0
0.11	0.1	-0.4	-0.9	-1.5	-2.2	-2.9	-3.7	-4.8	-5.8
0.12	0.1	-0.4	-1.0	-1.7	-2.5	-3.3	-4.3	-5.6	-6.7
0.13	0.1	-0.5	-1.1	-1.9	-2.8	-3.8	-4.9	-6.4	-8.3
0.14	0.2	-0.6	-1.3	-2.2	-3.2	-4.5	-6.2		
0.15	0.2	-0.7	-1.5	-2.6	-4.0	-5.8			
0.16	0.2	-0.7	-1.8	-3.2	-5.0	-7.5			
0.17	0.2	-0.8	-2.2	-3.8					
0.18	0.2	-0.9	-2.5	-4.6					
0.19	0.2	-1.1	-2.9	-5.5					

b) Ondes ayant leur impulsion vers le haut
(notation commençant par s).

0.02	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9
0.04	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.7
0.06	0.2	0.5	0.8	1.1	1.4	1.8	2.3	2.8
0.07	0.3	0.6	1.0	1.4	1.7	2.2	2.8	3.3
0.08	0.3	0.7	1.1	1.6	2.0	2.6	3.2	3.9
0.09	0.4	0.8	1.3	1.8	2.3	2.9	3.7	4.5
0.10	0.5	0.9	1.5	2.0	2.6	3.4	4.3	5.2
0.11	0.6	1.0	1.7	2.3	3.0	3.9	5.0	6.0
0.12	0.7	1.2	1.9	2.6	3.5	4.5	5.8	7.0
0.13	0.8	1.4	2.2	3.0	4.0	5.3	6.7	8.6
0.14	0.9	1.6	2.5	3.5	4.8	6.5		
0.15	1.0	1.9	3.0	4.3	6.1			
0.16	1.1	2.2	3.5	5.3	7.8			
0.17	1.2	2.5	4.2					
0.18	1.3	2.8	4.9					
0.19	1.5	3.2	5.8					

TABLE V

Valeurs correspondantes de $(\partial t / \partial \Delta)$ et $(\partial t / \partial h)$.

$\partial t / \partial \Delta$ donne la variation du temps de propagation pour un changement de distance de 1 degré en un point donné de la courbe de propagation. $\partial t / \partial h$ donne la variation du temps de propagation au même point si la distance est conservée, mais si la profondeur du foyer est changée de 100 km.

$\partial t / \partial h$ est exprimée en sec./100 km.

a) $\partial t / \partial h$. Ondes qui partent du foyer sous forme d'ondes longitudinales.

$\partial t / \partial \Delta$ sec./1°	Profondeur du foyer en km.								
	100	200	300	400	500	600	700	800	1000
13	3.8	2.7							
12	6.0	5.3	3.5						
11	7.4	6.9	5.5	2.0					
10	8.5	8.2	7.0	4.9	2.0				
9	9.4	9.1	8.0	6.4	4.8	3.4	2.0		
8	10.2	9.9	8.8	7.5	6.3	5.4	4.7	3.6	2.0
7	10.7	10.5	9.6	8.3	7.2	6.5	6.0	5.4	4.6
6	11.2	11.0	10.3	9.0	8.1	7.5	7.0	6.5	6.0
5	11.7	11.5	10.8	9.6	8.7	8.2	7.8	7.3	6.9
4	12.1	11.8	11.2	10.1	9.2	8.7	8.4	8.0	7.7
3	12.3	12.0	11.4	10.4	9.5	9.1	8.8	8.5	8.2
2	12.4	12.2	11.6	10.6	9.8	9.3	9.1	8.8	8.5
0	12.5	12.3	11.7	10.8	10.0	9.5	9.2	9.0	8.8

b) $\partial t / \partial h$. Ondes qui partent du foyer sous forme d'ondes transversales.

24	5.0								
23	8.0	6.6							
22	10.0	8.9	2.0						
21	11.5	10.7	6.5						
20	12.8	12.0	8.9	5.0					
19	14.1	13.4	10.7	7.5	1.8				
18	15.2	14.6	12.2	9.6	6.2				
17	16.2	15.6	13.3	11.2	8.9	5.6			
16	17.1	16.5	14.3	12.3	10.5	8.2	5.2		
15	17.8	17.3	15.3	13.5	11.8	9.8	7.6	5.2	
14	18.5	18.0	16.2	14.4	12.9	11.2	9.5	7.5	3.9
13	19.1	18.7	17.0	15.3	13.9	12.3	10.9	9.3	7.0
12	19.6	19.2	17.6	16.1	14.7	13.2	11.9	10.5	8.7
11	20.1	19.7	18.1	16.8	15.4	14.1	12.9	11.6	10.0
10	20.5	20.2	18.6	17.4	16.0	14.8	13.7	12.6	11.1
8	21.2	20.9	19.4	18.3	17.0	16.0	15.0	14.1	12.9
6	21.8	21.5	20.1	18.9	17.8	16.7	15.9	15.1	14.2
4	22.1	21.9	20.5	19.4	18.3	17.4	16.5	15.8	15.0
2	22.3	22.1	20.8	19.7	18.6	17.7	16.9	16.1	15.3
0	22.4	22.2	20.9	19.8	18.7	17.8	17.0	16.2	15.4

III

TEMPS DE PROPAGATION CALCULÉS

Par les méthodes exposées dans le paragraphe précédent, les durées de propagation ont été calculées pour toutes les principales ondes, pour des profondeurs focales de 100 à 800 km. à des intervalles de 100 km. Elles sont données sous les tables VI à XLIV inclus.

En effectuant le dépouillement des ondes, qui sont multiples dans les chocs normaux, c'est la première onde que l'on a utilisée lorsqu'elle est définie par une courbe hodochrone bien nette, comme par exemple celle de P.

Dans les autres cas, on a pris les temps de propagation de l'onde la plus marquée du groupe considéré.

Dans la table VII, les temps pour P' aux plus faibles distances (inférieures à la distance focale Δ' donnée dans cette table) se rapportent à l'onde P' diffractée.

Ces temps ont été calculés par le même procédé que pour l'onde P' directe. Il convient de se demander jusqu'à quel point la méthode est applicable, puisque les deux parties du rayon dans le manteau¹ ne sont peut-être pas symétriques. En conséquence, il se peut que les temps calculés pour l'onde P' diffractée présentent une erreur appréciable.

pP et PP commencent conjointement à une distance critique qui augmente avec la profondeur du foyer. A de plus faibles distances, aucune telle phase n'existe, excepté peut-être celles qui résulteraient de la diffraction ou d'irrégularité dans la surface réfléchissante. Au voisinage de la distance critique, les temps calculés sont beaucoup affectés par de faibles changements dans les suppositions faites ; nos temps calculés et les distances critiques correspondantes sont en conséquence assez incertaines. Contrairement à ce qu'on a supposé parfois, le point critique n'est pas un point focal

1. Entre l'écorce et le noyau. — N. D. L. R.

(caustique). Dans le cas d'un véritable point focal comme celui de P', $\frac{\partial i}{\partial \Delta}$ a une valeur infinie, tandis que, dans le cas actuel, $\frac{\partial i}{\partial \Delta}$ a une valeur finie. Dans le premier cas, les amplitudes sont théoriquement infinies (définition d'un point focal), tandis que, dans le second cas, elles sont finies. Cependant, il est possible que les amplitudes croissent quelque peu à des distances un peu au delà du point critique, car pP et PP arrivent alors toutes proches.

Des phénomènes similaires se produisent dans le cas de pPP et PPP, pS et PS, sS et SS, etc...

Pour sP et SP, sPP et SPP, etc., les conditions sont plus compliquées. Il y a trois cas distincts qui dépendent de l'angle d'incidence, à la surface de la terre, de l'onde S directe qui est émise de l'hypocentre horizontalement. Cet angle i^* correspond au point d'inflexion de la courbe de propagation de S.

i^* est fonction de la profondeur focale, et il y a une certaine profondeur critique h' , telle que $\sin i^* = \frac{v}{V}$, où v et V sont les vitesses de propagation des ondes transversales et longitudinales dans la couche superficielle.

Dans le cas où le foyer est à cette profondeur critique ($h = h'$), les courbes de temps de propagation sP, sPP, SP, SPP, etc., commencent toutes au point d'inflexion de la courbe des S.

Si $\sin i^* < \frac{v}{V}$ ($h > h'$), sP et SP commencent à un point commun de la même manière que pour pP et PP; sPP et SPP commencent à un autre point.

Ces points ne sont pas sur la courbe des S. Si $\sin i^* > \frac{v}{V}$ ($h < h'$), sP, sPP, etc., commencent ensemble sur la courbe des S à une distance plus faible que celle du point d'inflexion, tandis que SP, SPP, etc., commencent ensemble en

un second point plus distant que le point d'inflexion et aussi sur la courbe S.

La profondeur critique h' et les courbes hodochrones elles-mêmes dépendent beaucoup de la structure de l'écorce. Dans le cas des structures continentales, h' est de l'ordre de 500 km. Pour les structures du Pacifique, h' est considérablement plus grand.

Les durées de trajet pour S, telles qu'elles sont données dans la table XV, ne constituent qu'une tentative; elles sont basées sur les temps relatifs aux chocs normaux, dont il s'agit dans *On seismic Waves*, I et II. Les résultats discutés ci-dessous (section IX) indiquent que ces temps exigent peut-être une revision ultérieure; ceci affectera toutes les hodochrones des phases comprenant des ondes transversales (sP, PS, SKS, etc.). Pour autant qu'on peut le déterminer, la correction n'excède 10 secondes en aucun cas.

La table XXXIII donne des chiffres pour PKKP, comprenant l'intervalle PKKP-P, qui est indépendant de la profondeur focale dans les limites d'un très petit nombre de secondes, jusqu'aux plus grandes profondeurs figurant dans les tables (800 km.). PKKP a un point focal véritable aux environs de 120° ; cette distance augmente lentement avec la profondeur de l'hypocentre, atteignant environ 124° pour 800 km. La première onde PKKP doit être suivie par une onde $(PKKP)_2$, rapportée à PKKP de la même manière que P'_2 est rapportée à P'. De plus, il y aurait lieu d'attendre $pPKKP$, $sPKKP$, $(pPKKP)_2$ et $(sPKKP)_2$; généralement les séismogrammes font apparaître des mouvements continus à courtes périodes sans phases claires.

SKKP (table XXXIV) est encore plus compliquée; elle doit être suivie de PKKS, aussi bien que de sSKKP, etc. Et même le commencement du groupe (qui doit correspondre à SKKP des tables) n'est habituellement pas net dans les séismogrammes. La table XXXV donne les temps de propagation de P'P' (comprenant $P'_2P'_2$) et les intervalles P'P'-P. Cette différence dépend de la profondeur

hypocentrale un peu plus que PKKP-P. Les différences $pP'P'-P'P'$ et $sP'P'-P'P'$ sont à peu près les mêmes que $pP'-P'$ et $sP'-P'$ pour des profondeurs hypocentrales égales, comme cela est indiqué dans les tables VIII et IX.

Des remarques analogues s'appliquent à $P'P'P'$ (table XXXVI) et SKPP' (table XXXVII). Dans ce dernier cas, l'effet d'un foyer hypocentral sur la différence SKPP'-P est plus étendu que pour PP'-P. Les intervalles PKSP'-SKPP' sont donnés dans la dernière ligne de la table XXXVII.

Les temps de propagation pour les ondes plus simples réfléchies par le noyau terrestre figurent dans les tables XXXVIII-XLIV.

Théoriquement, les temps de propagation des ondes G devraient être les mêmes pour toutes les profondeurs de foyer. Des ondes de ce type à très longues périodes devraient être observées dans les séismes à foyers profonds.

Les données fournies dans les tables VI à XLIV peuvent servir à construire les hodochrones pour des profondeurs variées et indiquées dans les tables. A titre d'exemple, les courbes pour une profondeur de 600 km. sont données dans la planche jointe à ce mémoire¹. Quand la profondeur croît le nombre observable des phases devrait théoriquement décroître, tout comme les distances critiques, qui sont les limites les plus basses pour des paires de phases telles que pP et PP , sP et SP , croissent avec la profondeur hypocentrale. Pour des ondes du type de pS , PS , pSS , etc., où l'onde S quitte le point de réflexion plus brusquement que n'arrive l'onde longitudinale, il y aura une certaine profondeur de foyer pour laquelle le rayon atteignant la distance épacentrale critique raserait tout juste le noyau. Pour les hypocentres plus profonds que ceux-là, la phase en question ne peut exister. C'est le cas pour pS et PS , quand l'hypocentre a une profondeur supérieure à environ 900 km.

1. Dans le mémoire original en anglais, les courbes reproduites sont relatives à la profondeur de foyer de 400 km. — N. D. L. R.

Les tables VI et XLIV peuvent être utilisées pour d'autres constructions ; ainsi les courbes peuvent être tracées pour représenter les variations des temps de propagation avec la profondeur du foyer, à une distance donnée.

Une troisième représentation possible est celle qui montre les variations de profondeur et de distance pour un même temps de propagation ; en coordonnées polaires, les courbes sont celles des fronts d'onde. Il convient encore mieux d'utiliser les coordonnées rectangulaires ; si l'abscisse est Δ en degrés, l'ordonnée devra être le logarithme naturel du rayon, multiplié par $180^\circ/\pi$. C'est là une représentation conforme, de sorte que les rayons peuvent être tracés orthogonalement aux fronts d'onde.

Une construction complète des temps de propagation exigerait un modèle à trois dimensions.

TABLE VI

Temps de propagation de P (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
—	100	200	300	400	500	600	700	800
0	0:14	0:27	0:39	0:50	1:01	1:11	1:20	1:29
2	0:30	0:38	0:46	0:57	1:06	1:15	1:24	1:32
4	0:56	1:03	1:08	1:12	1:18	1:25	1:32	1:40
6	1:25	1:28	1:30	1:30	1:34	1:40	1:46	1:52
8	1:54	1:54	1:54	1:53	1:54	1:59	2:03	2:07
10	2:22	2:20	2:18	2:16	2:16	2:18	2:20	2:24
12	2:50	2:46	2:42	2:39	2:38	2:38	2:38	2:41
14	3:17	3:12	3:07	3:02	3:00	2:59	2:57	2:59
16	3:43	3:37	3:31	3:25	3:22	3:19	3:17	3:17
18	4:07	4:00	3:54	3:47	3:43	3:39	3:36	3:35
20	4:30	4:22	4:15	4:08	4:03	3:58	3:55	3:53
22	4:51	4:43	4:34	4:27	4:22	4:16	4:12	4:10
24	5:10	5:02	4:53	4:45	4:39	4:34	4:30	4:27
26	5:29	5:20	5:11	5:03	4:56	4:51	4:47	4:44
28	5:48	5:38	5:28	5:20	5:13	5:08	5:04	5:01
30	6:06	5:56	5:46	5:37	5:30	5:25	5:21	5:18
32	6:23	6:13	6:03	5:54	5:47	5:42	5:38	5:35
34	6:40	6:30	6:20	6:11	6:04	5:59	5:55	5:52
36	6:56	6:46	6:37	6:28	6:21	6:17	6:12	6:08
38	7:13	7:03	6:54	6:45	6:39	6:34	6:28	6:23
40	7:30	7:20	7:11	7:02	6:56	6:50	6:44	6:37
42	7:47	7:36	7:28	7:19	7:12	7:05	6:59	6:52
44	8:03	7:52	7:44	7:35	7:27	7:20	7:14	7:07
46	8:18	8:08	7:59	7:50	7:42	7:35	7:29	7:21
48	8:33	8:23	8:14	8:05	7:57	7:50	7:43	7:36
50	8:47	8:38	8:28	8:20	8:12	8:05	7:58	7:51
52	9:02	8:53	8:43	8:35	8:26	8:19	8:12	8:05
54	9:17	9:08	8:57	8:49	8:40	8:33	8:27	8:20
56	9:31	9:22	9:12	9:04	8:55	8:47	8:41	8:35
58	9:45	9:35	9:26	9:18	9:09	9:01	8:55	8:49
60	10:00	9:49	9:40	9:31	9:22	9:15	9:08	9:02
62	10:14	10:03	9:53	9:44	9:35	9:28	9:21	9:15
64	10:28	10:16	10:05	9:57	9:48	9:40	9:34	9:28
66	10:41	10:29	10:18	10:09	10:01	9:53	9:47	9:41
68	10:54	10:42	10:31	10:22	10:13	10:06	9:59	9:53

TABLE VI (*fin*)

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
70	11:07	10:55	10:44	10:35	10:26	10:18	10:11	10:05
72	11:19	11:07	10:55	10:46	10:37	10:29	10:22	10:15
74	11:30	11:18	11:06	10:57	10:48	10:40	10:33	10:26
76	11:41	11:29	11:17	11:08	10:59	10:51	10:44	10:36
78	11:52	11:40	11:29	11:19	11:10	11:02	10:55	10:47
80	12:03	11:51	11:40	11:30	11:21	11:13	11:05	10:57
82	12:14	12:02	11:51	11:40	11:31	11:23	11:15	11:07
84	12:24	12:12	12:01	11:50	11:41	11:33	11:25	11:17
86	12:34	12:22	12:11	12:01	11:51	11:42	11:34	11:26
88	12:44	12:31	12:21	12:11	12:01	11:52	11:43	11:35
90	12:53	12:41	12:30	12:20	12:10	12:01	11:52	11:44
92	13:02	12:50	12:39	12:29	12:19	12:10	12:01	11:53
94	13:11	12:59	12:48	12:38	12:28	12:19	12:10	12:02
96	13:20	13:08	12:57	12:47	12:37	12:28	12:19	12:11
98	13:28	13:17	13:06	12:56	12:46	12:37	12:28	12:20
100	13:37	13:25	13:14	13:04	12:55	12:46	12:37	12:29
102	13:46	13:34	13:23	13:13	13:04	12:55	12:46	12:37
104	13:55	13:43	13:32	13:22	13:13	13:04	12:55	12:46
106	14:04	13:52	13:41	13:31	13:22	13:13	13:04	12:56
108	14:13	14:01	13:50	13:40	13:30	13:21	13:13	13:05
110	14:22	14:10	13:59	13:49	13:39	13:30	13:22	13:14
115	14:44	14:32	14:21	14:11	14:01	13:52	13:43	13:35
120	15:06	14:54	14:43	14:33	14:23	14:14	14:05	13:57
125	15:28	15:16	15:05	14:55	14:45	14:36	14:27	14:19
130	15:51	15:39	15:28	15:18	15:08	14:59	14:50	14:42
140	16:36	16:24	16:13	16:03	15:53	15:44	15:35	15:27
150	17:21	17:09	16:58	16:48	16:38	16:29	16:20	16:12

TABLE VII

Temps de propagation de P' (min. : sec.)
et distance Δ' du foyer en degrés.

Les trois dernières lignes se rapportent à P'_2 .

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
105	17:59	17:46	17:34	17:24	17:14	17:05	16:57	16:49
110	18:16	18:03	17:51	17:41	17:31	17:22	17:14	17:05
115	18:32	18:19	18:07	17:56	17:46	17:37	17:29	17:20
120	18:45	18:32	18:21	18:10	17:59	17:49	17:40	17:32
125	18:56	18:44	18:32	18:21	18:11	18:01	17:52	17:43
130	19:05	18:53	18:41	18:30	18:20	18:10	18:01	17:52
135	19:11	18:59	18:47	18:36	18:26	18:16	18:06	17:58
140	19:16	19:03	18:51	18:40	18:30	18:20	18:10	18:01
142	19:17	19:05	18:53	18:43	18:33	18:24	18:15	18:07
145	19:27	19:15	19:03	18:52	18:42	18:33	18:24	18:16
150	19:39	19:26	19:14	19:04	18:53	18:44	18:34	18:26
155	19:46	19:33	19:22	19:11	19:00	18:50	18:41	18:32
160	19:51	19:38	19:26	19:15	19:04	18:54	18:45	18:36
170	19:56	19:43	19:31	19:20	19:10	19:01	18:51	18:42
180	20:00	19:47	19:35	19:24	19:13	19:04	18:54	18:44
	Δ'							
	142	141 $\frac{3}{4}$	141 $\frac{1}{2}$	141 $\frac{1}{4}$	141	140 $\frac{3}{4}$	140 $\frac{1}{2}$	140 $\frac{1}{4}$
150	19:57	19:45	19:34	19:24	19:15	19:06	18:58	18:50
160	20:46	20:34	20:23	20:13	20:04	19:55	19:47	19:39
170	21:34	21:22	21:11	21:01	20:52	20:43	20:35	20:27

TABLE VIII

Temps de propagation de pP et de pP' (min. : sec.)
et distance du foyer de pP' (ligne marquée focus).

Les trois dernières lignes se rapportent à pP'₂.

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
20	4:46	4:53						
25	5:40	5:48	5:55	6:00				
30	6:25	6:34	6:43	6:50				
35	7:09	7:19	7:28	7:35	7:40	7:45		
40	7:53	8:03	8:11	8:18	8:25	8:30		
45	8:35	8:45	8:54	9:01	9:07	9:14	9:19	
50	9:13	9:23	9:33	9:41	9:48	9:55	10:01	10:05
55	9:49	10:00	10:10	10:18	10:27	10:34	10:40	10:45
60	10:25	10:36	10:47	10:56	11:03	11:10	11:16	11:21
65	11:00	11:11	11:22	11:31	11:39	11:46	11:52	11:57
70	11:32	11:43	11:54	12:04	12:13	12:20	12:26	12:33
75	12:01	12:13	12:24	12:34	12:43	12:50	12:57	13:04
80	12:29	12:41	12:53	13:03	13:12	13:20	13:27	13:34
85	12:55	13:07	13:18	13:28	13:38	13:46	13:54	14:01
90	13:20	13:31	13:42	13:53	14:03	14:12	14:20	14:27
100	14:04	14:16	14:27	14:37	14:46	14:55	15:04	15:12
110	14:48	15:00	15:11	15:22	15:31	15:39	15:48	15:56
120	15:32	15:44	15:56	16:06	16:15	16:23	16:32	16:40
130	16:17	16:29	16:41	16:51	17:00	17:08	17:17	17:25
140	17:01	17:13	17:25	17:35	17:44	17:53	18:02	18:10
120	19:12	19:25	19:37	19:48	19:58	20:07	20:16	20:25
130	19:32	19:45	19:57	20:09	20:20	20:29	20:38	20:46
140	19:44	19:57	20:10	20:21	20:32	20:42	20:51	21:00
145	19:56	20:08	20:19	20:30	20:40	20:50	20:59	21:08
150	20:08	20:20	20:32	20:43	20:53	21:03	21:12	21:21
160	20:19	20:32	20:44	20:55	21:05	21:15	21:25	21:34
180	20:27	20:40	20:52	21:03	21:13	21:23	21:34	21:43
focus	142 $\frac{1}{4}$	142 $\frac{1}{2}$	142 $\frac{1}{2}$	142 $\frac{3}{4}$	143	143 $\frac{1}{4}$	143 $\frac{1}{2}$	143 $\frac{3}{4}$
150	20:24	20:36	20:47	20:57	21:06	21:15	21:23	21:31
160	21:13	21:25	21:36	21:46	21:55	22:04	22:12	22:20
170	22:00	22:12	22:23	22:33	22:42	22:51	22:59	23:07

TABLE IX

Temps de propagation de sP et de sP' (min. : sec.).
Le foyer de sP' coïncide à peu près avec le foyer de pP'.

Les trois dernières lignes se rapportent à sP'₂.

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
20	5:00	5:21	5:40	5:56	6:11	6:22		
25	5:50	6:10	6:29	6:47	7:05	7:20	7:34	7:47
30	6:39	7:00	7:18	7:36	7:54	8:10	8:24	8:37
35	7:23	7:43	8:02	8:20	8:38	8:55	9:11	9:26
40	8:07	8:27	8:46	9:04	9:22	9:39	9:55	10:09
45	8:47	9:08	9:27	9:46	10:04	10:21	10:35	10:49
50	9:26	9:46	10:05	10:23	10:41	10:59	11:15	11:30
55	10:01	10:22	10:42	11:01	11:19	11:36	11:53	12:08
60	10:36	10:57	11:16	11:35	11:54	12:12	12:29	12:44
65	11:10	11:31	11:51	12:10	12:29	12:47	13:04	13:18
70	11:43	12:05	12:25	12:44	13:03	13:21	13:39	13:53
75	12:12	12:34	12:54	13:15	13:33	13:51	14:08	14:25
80	12:40	13:03	13:24	13:44	14:03	14:20	14:36	14:51
85	13:06	13:29	13:50	14:10	14:28	14:46	15:02	15:19
90	13:30	13:53	14:14	14:34	14:53	15:11	15:28	15:43
100	14:14	14:37	14:58	15:18	15:37	15:55	16:12	16:28
110	14:59	15:22	15:43	16:03	16:22	16:40	16:57	17:13
120	15:44	16:07	16:28	16:48	17:07	17:25	17:42	17:58
130	16:29	16:52	17:13	17:33	17:52	18:10	18:27	18:43
140	17:14	17:37	17:58	18:18	18:37	18:55	19:12	19:28
130	19:41	20:04	20:26	20:46	21:05	21:24	21:41	21:58
140	19:53	20:17	20:39	20:59	21:18	21:37	21:54	22:11
145	20:05	20:28	20:50	21:10	21:29	21:48	22:06	22:24
150	20:18	20:41	21:03	21:23	21:42	22:01	22:19	22:36
160	20:29	20:52	21:14	21:34	21:53	22:12	22:30	22:47
180	20:37	21:00	21:22	21:42	22:01	22:20	22:38	22:55
150	20:34	20:56	21:17	21:37	21:56	22:13	22:30	22:46
160	21:23	21:45	22:06	22:26	22:45	23:02	23:19	23:35
170	22:10	22:32	22:53	23:13	23:32	23:49	24:06	24:22

TABLE X
Temps de propagation de PP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
20	5:02							
25	6:05	6:03	6:02	6:01				
30	7:08	7:05	7:02	6:58				
35	8:11	8:07	8:02	7:58	7:54	7:51		
40	9:07	8:59	8:52	8:46	8:42	8:39	8:37	
45	9:58	9:50	9:42	9:35	9:30	9:26	9:23	
50	10:47	10:38	10:30	10:23	10:18	10:14	10:10	10:07
55	11:33	11:25	11:17	11:09	11:03	10:58	10:54	10:51
60	12:18	12:09	12:01	11:53	11:46	11:41	11:38	11:35
65	13:02	12:53	12:44	12:36	12:29	12:25	12:21	12:18
70	13:46	13:37	13:28	13:20	13:13	13:08	13:04	13:01
75	14:30	14:20	14:11	14:03	13:56	13:51	13:47	13:44
80	15:13	15:02	14:53	14:45	14:37	14:33	14:29	14:25
85	15:54	15:43	15:33	15:25	15:17	15:11	15:06	15:02
90	16:33	16:23	16:13	16:04	15:56	15:48	15:42	15:37
100	17:47	17:37	17:27	17:18	17:10	17:01	16:55	16:49
110	18:59	18:48	18:38	18:29	18:20	18:12	18:05	17:59
120	20:10	19:59	19:48	19:39	19:30	19:22	19:15	19:09
130	21:20	21:09	20:58	20:48	20:39	20:31	20:24	20:18
140	22:26	22:14	22:04	21:53	21:45	21:37	21:30	21:23
150	23:24	23:11	23:00	22:50	22:41	22:33	22:24	22:18
160	24:18	24:05	23:54	23:45	23:36	23:28	23:19	23:12
170	25:11	24:59	24:48	24:38	24:29	24:20	24:11	24:04
180	26:02	25:50	25:39	25:29	25:20	25:10	25:01	24:53

TABLE XI
Temps de propagation de pPP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
40	9:26	9:34						
50	11:05	11:15	11:22	11:24				
60	12:39	12:49	12:58	13:04	13:11			
70	14:07	14:17	14:26	14:33	14:38	14:44	14:47	
80	15:35	15:46	15:55	16:02	16:08	16:13	16:16	16:17
90	16:55	17:06	17:15	17:23	17:30	17:35	17:40	17:44
100	18:11	18:22	18:31	18:40	18:47	18:54	18:59	19:03
110	19:23	19:34	19:43	19:53	20:01	20:07	20:13	20:18
120	20:35	20:46	20:55	21:04	21:13	21:20	21:26	21:31
130	21:45	21:56	22:05	22:13	22:22	22:30	22:36	22:42
140	22:50	23:02	23:13	23:22	23:31	23:38	23:45	23:52
150	23:48	24:00	24:11	24:21	24:30	24:37	24:44	24:51
160	24:43	24:56	25:07	25:17	25:26	25:34	25:41	25:48
170	25:36	25:48	25:59	26:09	26:18	26:27	26:34	26:41
180	26:26	26:38	26:50	27:00	27:09	27:18	27:26	27:34

TABLE XII
Temps de propagation de sPP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
30	7:34	7:54	8:10	8:20	8:28			
40	9:40	10:01	10:18	10:33	10:49	11:02	11:14	11:24
50	11:19	11:40	11:59	12:17	12:35	12:51	13:05	13:21
60	12:54	13:15	13:34	13:51	14:09	14:25	14:41	14:56
70	14:22	14:42	15:01	15:19	15:37	15:54	16:09	16:24
80	15:50	16:10	16:29	16:47	17:05	17:22	17:36	17:51
90	17:09	17:29	17:48	18:08	18:28	18:44	18:58	19:12
100	18:26	18:45	19:05	19:25	19:44	20:01	20:16	20:30
110	19:37	19:57	20:17	20:37	20:56	21:13	21:28	21:42
120	20:48	21:09	21:30	21:49	22:09	22:26	22:41	22:54
130	21:58	22:20	22:40	23:01	23:20	23:39	23:53	24:06
140	23:04	23:28	23:48	24:09	24:29	24:47	25:03	25:16
150	24:01	24:26	24:46	25:07	25:26	25:45	26:02	26:15
160	24:56	25:20	25:41	26:03	26:21	26:40	26:57	27:11
170	25:47	26:11	26:32	26:54	27:12	27:30	27:48	28:02
180	26:37	27:00	27:22	27:43	28:01	28:19	28:37	28:52

TABLE XIII
Temps de propagation de PPP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
40	9:42	9:40	9:39					
50	11:44	11:39	11:35	11:32				
60	13:42	13:35	13:30	13:26	13:23	13:20		
70	15:27	15:17	15:09	15:03	14:58	14:54	14:51	
80	17:02	16:53	16:42	16:37	16:32	16:28	16:26	16:25
90	18:32	18:23	18:14	18:07	18:02	17:58	17:56	17:55
100	20:01	19:52	19:43	19:34	19:29	19:24	19:21	19:19
120	22:55	22:45	22:35	22:26	22:20	22:14	22:10	22:06
140	25:36	25:25	25:16	25:07	24:58	24:50	24:44	24:38
160	28:01	27:51	27:41	27:32	27:24	27:17	27:10	27:04
180	30:22	30:11	30:01	29:51	29:43	29:36	29:29	29:22

TABLE XIV
Temps de propagation de pPPP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
60	13:59	14:05	14:09	14:10				
70	15:44	15:52	15:57	16:02	16:03			
80	17:23	17:32	17:40	17:46	17:48			
90	18:54	19:03	19:11	19:17	19:23	19:25		
100	20:22	20:31	20:40	20:47	20:53	20:56	20:57	
120	23:16	23:27	23:35	23:43	23:49	23:54	23:57	23:59
140	25:59	26:10	26:19	26:27	26:34	26:40	26:46	26:51
160	28:24	28:35	28:45	28:55	29:03	29:10	29:17	29:24
180	30:44	30:55	31:06	31:16	31:25	31:32	31:39	31:46

TABLE XV
Temps de propagation de S (min. : sec.).
(*provisoires*)

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
0	0:24	0:46	1:08	1:29	1:49	2:07	2:24	2:41
2	1:00	1:06	1:24	1:41	1:59	2:15	2:30	2:47
4	1:49	1:49	1:51	2:05	2:20	2:34	2:48	3:02
6	2:38	2:37	2:34	2:40	2:47	2:58	3:09	3:21
8	3:27	3:24	3:18	3:19	3:23	3:30	3:38	3:46
10	4:16	4:12	4:03	4:00	4:01	4:06	4:12	4:18
12	5:04	4:56	4:47	4:42	4:39	4:42	4:46	4:50
14	5:49	5:40	5:31	5:23	5:18	5:18	5:20	5:22
16	6:35	6:25	6:15	6:05	5:57	5:54	5:54	5:54
18	7:21	7:09	6:57	6:46	6:36	6:30	6:28	6:26
20	8:04	7:52	7:39	7:26	7:15	7:06	7:02	6:58
22	8:44	8:32	8:19	8:06	7:54	7:42	7:36	7:30
24	9:21	9:05	8:51	8:37	8:26	8:18	8:09	8:01
26	9:54	9:37	9:22	9:07	8:56	8:47	8:39	8:31
28	10:27	10:09	9:52	9:37	9:26	9:16	9:08	9:01
30	10:57	10:39	10:23	10:08	9:56	9:46	9:37	9:29
32	11:28	11:10	10:53	10:38	10:26	10:15	10:06	9:58
34	11:58	11:40	11:23	11:08	10:56	10:44	10:35	10:26
36	12:28	12:10	11:53	11:38	11:25	11:13	11:03	10:54
38	12:58	12:40	12:23	12:08	11:54	11:42	11:32	11:23
40	13:27	13:09	12:52	12:38	12:23	12:11	12:01	11:51
42	13:56	13:37	13:21	13:07	12:52	12:39	12:30	12:20
44	14:24	14:06	13:50	13:35	13:20	13:07	12:58	12:48
46	14:51	14:34	14:18	14:03	13:48	13:35	13:25	13:16
48	15:19	15:01	14:45	14:30	14:16	14:02	13:51	13:42
50	15:46	15:28	15:12	14:57	14:43	14:29	14:17	14:08
52	16:14	15:55	15:38	15:23	15:10	14:57	14:44	14:34
54	16:41	16:22	16:05	15:50	15:37	15:24	15:11	15:00
56	17:08	16:48	16:32	16:16	16:03	15:49	15:37	15:26
58	17:35	17:15	16:58	16:42	16:28	16:14	16:02	15:50
60	18:02	17:42	17:24	17:07	16:52	16:38	16:26	16:14
62	18:28	18:08	17:49	17:31	17:16	17:02	16:50	16:38
64	18:52	18:32	18:12	17:55	17:40	17:25	17:13	17:01
66	19:15	18:55	18:35	18:18	18:03	17:48	17:35	17:23
68	19:38	19:18	18:58	18:40	18:25	18:10	17:57	17:45

TABLE XV (*fn*)

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
70	20:01	19:40	19:21	19:03	18:48	18:33	18:20	18:08
72	20:23	20:03	19:43	19:26	19:10	18:56	18:43	18:31
74	20:45	20:24	20:05	19:48	19:33	19:19	19:06	18:54
76	21:07	20:46	20:27	20:10	19:55	19:41	19:28	19:16
78	21:29	21:08	20:49	20:32	20:17	20:02	19:49	19:37
80	21:51	21:30	21:11	20:54	20:39	20:23	20:10	19:58
82	22:13	21:52	21:33	21:16	21:01	20:46	20:31	20:19
84	22:35	22:14	21:55	21:38	21:23	21:08	20:53	20:39
86	22:56	22:35	22:16	21:59	21:43	21:27	21:13	20:59
88	23:16	22:55	22:36	22:18	22:02	21:44	21:30	21:17
90	23:35	23:14	22:55	22:37	22:20	22:03	21:48	21:35
92	23:53	23:32	23:12	22:55	22:37	22:20	22:05	21:52
94	24:11	23:50	23:31	23:12	22:54	22:37	22:23	22:09
96	24:28	24:08	23:48	23:30	23:12	22:55	22:40	22:26
98	24:46	24:25	24:05	23:47	23:29	23:12	22:57	22:44
100	25:03	24:42	24:23	24:04	23:46	23:29	23:14	23:01
105	25:45	25:24	25:04	24:46	24:28	24:11	23:56	23:43
110	26:26	26:05	25:45	25:27	25:09	24:52	24:37	24:24
115	27:08	26:47	26:27	26:09	25:51	25:34	25:19	25:06
120	27:50	27:29	27:09	26:51	26:33	26:16	26:01	25:48

TABLE XVI

Temps de propagation de pS (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
70	20:33	20:38						
75	21:30	21:38						
80	22:23	22:32	22:37					
85	23:16	23:24	23:30	23:33				
90	24:06	24:15	24:22	24:27	24:28			
95	24:53	25:03	25:11	25:17	25:20	25:21		
100	25:37	25:47	25:56	26:02	26:06	26:10		
105	26:20	26:30	26:39	26:46	26:51	26:55	26:56	
110	27:03	27:13	27:22	27:29	27:35	27:40	27:42	27:43
115	27:45	27:55	28:04	28:11	28:17	28:22	28:26	28:28
120	28:27	28:37	28:46	28:53	28:59	29:04	29:08	29:10

TABLE XVII

Durée de propagation de sS (min. : sec.)

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
—								
25	10:14	10:26	10:33					
30	11:35	11:49	12:02	12:10				
35	12:53	13:08	13:22	13:34	13:44			
40	14:09	14:26	14:41	14:55	15:08	15:15		
45	15:23	15:40	15:55	16:09	16:23	16:32	16:41	16:46
50	16:31	16:49	17:06	17:20	17:34	17:46	17:58	18:09
55	17:39	17:58	18:16	18:30	18:44	18:57	19:10	19:21
60	18:46	19:06	19:22	19:37	19:51	20:04	20:17	20:28
65	19:46	20:06	20:25	20:42	20:58	21:11	21:24	21:34
70	20:42	21:02	21:21	21:38	21:54	22:09	22:23	22:34
75	21:37	21:57	22:16	22:33	22:49	23:04	23:17	23:29
80	22:32	22:52	23:11	23:28	23:44	23:59	24:13	24:25
85	23:27	23:47	24:06	24:23	24:39	24:54	25:08	25:20
90	24:21	24:42	25:01	25:18	25:34	25:49	26:03	26:15
95	25:07	25:28	25:48	26:06	26:24	26:40	26:55	27:07
100	25:51	26:12	26:31	26:49	27:07	27:24	27:40	27:53
105	26:32	26:53	27:13	27:31	27:49	28:06	28:22	28:36
110	27:14	27:35	27:55	28:13	28:31	28:48	29:04	29:18
115	27:56	28:17	28:37	28:55	29:13	29:30	29:46	30:00
120	28:37	28:58	29:18	29:36	29:54	30:11	30:27	30:41

TABLE XVIII

Temps de propagation de SS (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
—								
40	16:32	16:20	16:10	16:01	15:53	15:46	15:42	
50	19:31	19:15	19:01	18:49	18:39	18:31	18:24	18:20
60	22:10	21:53	21:38	21:24	21:12	21:02	20:54	20:48
70	24:41	24:24	24:08	23:54	23:42	23:32	23:24	23:16
80	27:12	26:53	26:36	26:21	26:08	25:57	25:47	25:38
90	29:33	29:14	28:57	28:41	28:29	28:17	28:07	27:58
100	31:54	31:35	31:18	31:02	30:48	30:36	30:26	30:16
110	34:12	33:53	33:35	33:19	33:05	32:52	32:41	32:31
120	36:28	36:08	35:50	35:34	35:19	35:06	34:54	34:44
130	38:30	38:10	37:52	37:35	37:20	37:06	36:53	36:42
140	40:25	40:05	39:47	39:30	39:14	39:00	38:47	38:35
150	42:20	41:59	41:40	41:22	41:06	40:52	40:38	40:26
160	44:06	43:45	43:26	43:08	42:52	42:37	42:23	42:11
170	45:50	45:30	45:11	44:53	44:36	44:21	44:07	43:54
180	47:32	47:12	46:53	46:35	46:18	46:02	45:48	45:35

TABLE XIX

Temps de propagation de sSS (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
—								
40	16:58	17:12	17:22					
50	20:04	20:19	20:32	20:42				
60	22:47	23:04	23:18	23:31	23:35			
70	25:20	25:37	25:52	26:06	26:18	26:27	26:30	
80	27:50	28:07	28:24	28:39	28:52	29:03	29:11	29:17
90	30:18	30:37	30:53	31:08	31:21	31:32	31:41	31:48
100	32:39	32:57	33:14	33:30	33:43	33:55	34:05	34:14
110	34:57	35:15	35:32	36:48	37:02	37:14	37:24	37:34
120	37:13	37:31	37:49	38:06	38:20	38:33	38:44	38:54
130	39:14	39:33	39:52	40:09	40:24	40:38	40:50	41:01
140	41:10	41:29	41:47	42:04	42:19	42:33	42:46	42:57
150	43:05	43:24	43:42	43:59	44:14	44:29	44:42	44:53
160	44:51	45:11	45:30	45:48	45:04	46:19	46:33	46:45
170	46:35	46:55	47:15	47:32	47:49	48:04	48:18	48:31
180	48:16	48:36	48:55	49:13	49:30	49:45	49:59	50:12

TABLE XX

Temps de propagation de SSS (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
—								
50	21:17	21:06	20:58	20:53				
60	24:58	24:35	24:24	24:15	24:10			
70	27:56	27:44	27:27	27:16	27:06	27:00	26:58	
80	30:48	30:31	30:16	30:03	29:51	29:42	29:35	29:30
90	33:25	33:08	32:52	32:38	32:26	32:16	32:07	32:02
100	35:58	35:41	35:25	35:11	34:59	34:49	34:39	34:32
110	38:30	38:13	37:57	37:42	37:29	37:18	37:08	37:01
120	40:57	40:40	40:23	40:08	39:55	39:44	39:34	39:26
130	43:22	43:04	42:47	42:32	42:19	42:07	41:56	41:48
140	45:46	45:28	45:11	44:56	44:43	44:30	44:18	44:10
150	48:07	47:49	47:32	47:16	47:02	46:49	46:37	46:28
160	50:23	50:05	49:47	49:31	49:17	49:04	48:52	48:43
170	52:39	52:21	52:03	51:46	51:32	51:19	51:07	50:57
180	54:55	54:36	54:18	54:01	53:47	53:34	53:22	53:12

TABLE XXI

Temps de propagation de SP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km. *							
	100	200	300	400	500	600	700	800
70	20:35	20:16	19:59	19:43	19:28	19:15	19:03	18:53
75	21:40	21:21	21:03	20:46	20:30	20:16	20:04	19:53
80	22:43	22:23	22:04	21:47	21:31	21:16	21:03	20:52
85	23:42	23:22	23:03	22:46	22:30	22:15	22:02	21:50
90	24:38	24:18	23:59	23:42	23:27	23:13	22:59	22:47
95	25:34	25:14	24:55	24:37	24:21	24:07	23:53	23:41
100	26:29	26:08	25:49	25:31	25:15	25:00	24:46	24:34
105	27:21	27:01	26:42	26:24	26:08	25:53	25:39	25:27
110	28:13	27:53	27:33	27:15	26:59	26:44	26:30	26:17
115	29:04	28:44	28:24	28:05	27:49	27:33	27:19	27:06
120	29:51	29:31	29:11	28:52	28:36	28:20	28:05	27:52
125	30:37	30:17	29:57	29:38	29:21	29:05	28:50	28:37
130	31:20	31:00	30:40	30:21	30:04	29:48	29:33	29:20
135	32:02	31:41	31:21	31:03	30:46	30:30	30:15	30:02
140	32:44	32:23	32:03	31:44	31:27	31:11	30:56	30:43

TABLE XXII

Temps de propagation de PS (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
70	20:51	20:47						
75	21:53	21:48						
80	22:54	22:48	22:43					
85	23:54	23:47	23:41	23:37				
90	24:50	24:43	24:37	24:33	24:30			
95	25:46	25:39	25:33	25:28	25:25	25:23		
100	26:42	26:35	26:28	26:23	26:19	26:17		
105	27:36	27:29	27:21	27:15	27:11	27:09	27:08	
110	28:28	28:20	28:12	28:06	28:02	27:59	27:57	27:55
115	29:17	29:08	29:00	28:54	28:48	28:44	28:41	28:38
120	30:04	29:55	29:47	29:39	29:32	29:27	29:24	29:20
125	30:48	30:39	30:30	30:22	30:15	30:10	30:06	30:02
130	31:31	31:21	31:12	31:04	30:57	30:52	30:48	30:44
135	32:13	32:04	31:54	31:46	31:39	31:34	31:30	31:26
140	32:55	32:45	32:36	32:28	32:21	32:16	32:12	32:08

TABLE XXIII

Temps de propagation de pPS ou pSP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
90	25:06	25:13						
100	26:57	27:05	27:08					
110	28:46	28:55	29:01	29:06				
120	30:23	30:32	30:39	30:45	30:48			
130	31:52	32:02	32:10	32:18	32:22	32:26		
140	33:18	33:28	33:36	33:44	33:49	33:54	33:58	
150	34:43	34:53	35:02	35:10	35:16	35:21	35:26	35:29
160	36:08	36:18	36:27	36:35	36:41	36:46	36:52	36:55

TABLE XXIV

Temps de propagation de sPS ou sSP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
70	21:23	21:41	21:59	22:16	22:31	22:44	22:55	23:05
80	23:23	23:42	24:00	24:17	24:32	24:46	24:58	25:08
90	25:20	25:40	25:58	26:16	26:32	26:46	26:59	27:10
100	27:11	27:31	27:49	28:07	28:23	28:38	28:52	29:04
110	28:58	29:18	29:36	29:54	30:10	30:26	30:40	30:53
120	30:36	30:57	31:16	31:34	31:50	32:06	32:20	32:35
130	32:06	32:27	32:47	33:05	33:22	33:38	33:52	34:06
140	33:31	33:52	34:12	34:31	34:48	35:04	35:19	35:33
150	34:56	35:17	35:37	35:56	36:13	36:30	36:45	36:59
160	36:21	36:41	37:02	37:21	37:38	37:55	38:10	38:24

TABLE XXV

Temps de propagation de SPP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
100	27:24	27:04	26:45	26:28	26:12	25:57	25:44	25:32
110	29:15	28:55	28:36	28:19	28:03	27:48	27:35	27:23
120	31:04	30:44	30:25	30:07	29:51	29:36	29:22	29:10
130	32:50	32:30	32:11	31:53	31:37	31:22	31:08	30:55
140	34:30	34:10	33:51	33:33	33:17	33:02	32:48	32:34
150	36:03	35:43	35:24	35:07	34:50	34:37	34:20	34:06
160	37:35	37:14	36:55	36:38	36:21	36:05	35:50	35:36
170	39:06	38:45	38:25	38:08	37:51	37:35	37:20	37:06

TABLE XXVI

Temps de propagation de PPS ou PSP (min. : sec.).

Dist. degr. —	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
100	27:35	27:28	27:24	27:23				
110	29:27	29:20	29:14	29:12	29:11			
120	31:17	31:09	31:02	30:58	30:55			
130	33:05	32:57	32:49	32:43	32:38	32:36		
140	34:48	34:39	34:31	34:25	34:20	34:16	34:14	34:13
150	36:20	36:11	36:03	35:56	35:51	35:47	35:44	35:43
160	37:52	37:43	37:34	37:27	37:21	37:17	37:14	37:13
170	39:23	39:14	39:05	38:58	38:52	38:47	38:44	37:43

TABLE XXVII

Temps de propagation en min. : sec.

SKP (première section),

PKS (deuxième section),

pPKS ou pSKP (troisième section),

sPKS ou sSKP (quatrième section).

Dist. degr. —	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
130	22:13	21:52	21:31	21:11	20:53	20:36	20:20	20:04
135	22:33	22:11	21:50	21:30	21:12	20:56	20:40	20:24
140	22:49	22:27	22:06	21:47	21:29	21:12	20:56	20:39
145	23:02	22:40	22:19	22:00	21:42	21:25	21:09	20:53
130	22:21	22:09	21:58	21:47	21:37	21:28	21:20	21:12
135	22:41	22:29	22:18	22:07	21:57	21:48	21:40	21:32
140	23:00	22:47	22:35	22:24	22:13	22:04	21:55	21:48
145	23:13	23:00	22:48	22:37	22:27	22:17	22:08	22:00
130	22:48	23:01	23:13	23:24	23:34	23:43	23:51	23:58
135	23:07	23:20	23:32	23:43	23:53	24:02	24:11	24:19
140	23:25	23:37	23:49	24:00	24:11	24:20	24:28	24:36
145	23:37	23:50	24:02	24:13	24:24	24:34	24:42	24:50
130	22:59	23:20	23:41	24:01	24:20	24:37	24:52	25:07
135	23:19	23:40	24:01	24:20	24:39	24:56	25:12	25:27
140	23:36	23:58	24:19	24:38	24:57	25:14	25:30	25:46
145	23:51	24:12	24:33	24:53	25:12	25:30	25:47	26:02

TABLE XXVIII

Temps de propagation de SKS (min. : sec.).

Dist. degr. —	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
80	22:07	21:45	21:26	21:08	20:51	20:36	20:22	20:10
85	22:39	22:17	21:58	21:40	21:23	21:07	20:53	20:41
90	23:09	22:47	22:27	22:09	21:52	21:37	21:23	21:10
95	23:37	23:16	22:56	22:37	22:20	22:05	21:50	21:37
100	24:03	23:42	23:23	23:03	22:46	22:30	22:15	22:02
105	24:28	24:07	23:47	23:28	23:11	22:54	22:38	22:24
110	24:52	24:30	24:10	23:51	23:33	23:16	23:00	22:45
115	25:14	24:52	24:32	24:13	23:54	23:37	23:21	23:06
120	25:34	25:13	24:53	24:33	24:14	23:57	23:41	23:25
125	25:49	25:28	25:08	24:48	24:30	24:13	23:56	23:40
130	26:01	25:40	25:20	25:00	24:42	24:24	24:07	23:51
135	26:12	25:51	25:31	25:11	24:52	24:34	24:17	24:01
140	26:22	26:00	25:40	25:20	25:01	24:43	24:26	24:09
145	26:31	26:08	25:47	25:28	25:09	24:50	24:33	24:16
150	26:36	26:14	25:53	25:33	25:14	24:56	24:38	24:21
180	26:51	26:28	26:07	25:47	25:27	25:09	24:51	24:34

TABLE XXIX

Différences des temps de propagation en min. : sec.
pSKS-SKS (première section),
sSKS-SKS (deuxième section).

Dist. degr. —	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
110	0:38	1:09	1:38	2:06	2:32	2:56	3:16	3:33
180	0:39	1:14	1:47	2:18	2:48	3:16	3:44	4:11
110	0:48	1:31	2:11	2:50	3:27	4:01	4:33	5:03
180	0:48	1:35	2:16	2:56	3:36	4:12	4:48	5:22

TABLE XXX

Temps de propagation de SKKS (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
90	23:17	22:55	22:35	22:16	21:59	21:42	21:26	21:11
100	24:24	24:02	23:42	23:23	23:05	22:48	22:32	22:17
110	25:28	25:06	24:46	24:27	24:09	23:52	23:36	23:21
120	26:29	26:07	25:46	25:27	25:09	24:52	24:36	24:21
130	27:28	27:06	26:45	26:26	26:08	25:51	25:35	25:20
140	28:27	28:05	27:44	27:25	27:07	26:50	26:34	26:19
150	29:24	29:02	28:42	28:23	28:05	27:47	27:31	27:16
160	30:21	30:00	29:39	29:20	29:02	28:44	28:28	28:13

TABLE XXXI

Temps de propagation de SKSP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
120	30:06	29:45	29:24	29:05	28:47	28:31	28:16	28:01
130	31:07	30:46	30:26	30:06	29:48	29:32	29:17	29:02
140	32:08	31:46	31:26	31:07	30:49	30:33	30:17	30:02
150	33:08	32:46	32:26	32:07	31:50	31:33	31:17	31:02
160	34:09	33:47	33:26	33:07	32:49	32:33	32:17	32:02
170	35:08	34:47	34:25	34:06	33:49	33:32	33:16	33:01

TABLE XXXII

Temps de propagation de PSKS (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
120	30:19	30:08	29:57	29:47	29:38	29:30	29:23	29:17
130	31:20	31:09	30:58	30:48	30:39	30:31	30:24	30:18
140	32:20	32:09	31:59	31:49	31:40	31:32	31:25	31:18
150	33:20	33:08	32:58	32:48	32:39	32:31	32:25	32:18
160	34:19	34:08	33:57	33:47	33:38	33:30	33:24	33:17
170	35:18	35:07	34:56	34:46	34:37	34:29	34:22	34:16

TABLE XXXIII

Différences dans les temps de propagation (min. : sec.)
 PKKP-P (les valeurs sont les mêmes dans les limites d'erreur pour les profondeurs au-dessus de 800 km.) et temps de propagation de PKKP pour diverses profondeurs en fonction de la distance Δ (en degrés).

Δ	Temps de propagation de PKKP pour diverses profondeurs (en km.)									
	PKKP-P	25	100	200	300	400	500	600	700	800
95	17:03	30:30	30:19	30:07	29:55	29:45	29:36	29:27	29:18	29:09
96	16:55	30:27	30:16	30:03	29:52	29:42	29:33	29:23	29:14	29:06
97	16:48	:24	:13	30:00	:49	:30	:39	:20	:11	29:03
98	:40	:22	:10	29:57	:46	:36	:27	:17	:08	29:00
99	:33	:19	:07	:54	:43	:33	:24	:14	:05	28:57
100	:25	:16	:04	:51	:39	:30	:21	:11	29:02	:54
101	:18	:13	30:01	:48	:36	:26	:18	:08	28:59	:51
102	:10	:09	29:57	:45	:33	:23	:15	:05	:56	:48
103	16:03	:06	:54	:42	:30	:20	:12	29:02	:53	:45
104	15:55	:03	:51	:39	:27	:17	:08	28:59	:50	:42
105	:48	30:00	:48	:36	:24	:14	:05	:56	:47	:39
106	:40	29:56	:45	:33	:21	:11	29:02	:53	:44	:36
107	:33	:53	:42	:30	:18	:08	28:59	:49	:41	:33
108	:25	:50	:38	:26	:14	:05	:56	:46	:38	:30
109	:18	:46	:35	:23	:11	29:01	:52	:43	:35	:27
110	:10	:43	:32	:20	:08	28:57	:49	:39	:31	:24
111	15:03	:40	:29	:17	:04	:54	:45	:36	:28	:21
112	14:55	:37	:25	:13	29:01	:51	:42	:33	:24	:17
113	:47	:33	:22	:10	28:58	:47	:38	:29	:21	:14
114	:39	:30	:18	:07	:55	:44	:35	:26	:17	:10
115	:30	:26	:15	29:03	:51	:40	:31	:22	:13	:07
116	:21	:22	:11	28:59	:48	:37	:28	:19	:10	28:03
118	14:05	29:13	29:02	:51	:39	:28	:19	:10	28:01	27:54
120	13:47	29:03	28:53	:41	:29	:19	:10	28:01	27:52	:45
122	13:25	28:50	:40	:28	:17	28:06	27:58	27:49	:41	:35
124	(13:02)	(28:40)	(28:29)	(28:16)	(28:05)	27:53	:44	:35	:26	:20

TABLE XXXIV

Temps de propagation de SKKP (min. : sec.).¹

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
120	32:40	32:18	31:56	31:35	31:15	30:56	30:39	30:22
125	32:25	32:03	31:41	31:20	31:00	30:41	30:24	30:07
130	32:08	31:46	31:24	31:03	30:43	30:25	30:08	29:51
135	31:50	31:28	31:06	30:45	30:25	30:07	29:50	29:34
140	31:30	31:06	30:46	30:25	30:06	29:48	29:31	29:15
145	31:08	30:46	30:25	30:04	29:45	29:27	29:10	28:54

TABLE XXXV

Différences des temps de propagation de P'P'-P et temps de propagation de P'P' (min. : sec.) pour différentes profondeurs de foyer (en km.) et distances Δ (en degrés). Les chiffres marqués d'un * concernent les P'P' diffractés. Les quatre dernières lignes se rapportent à $P'_2P'_2$.

Δ	P'P'-P pour les profondeurs de foyer					P'P'-O pour les profondeurs de foyer				
	0	200	400	600	800	0	200	400	600	800
40	32:28	32:22	32:19	32:11	32:04	40:10	39:42	39:21	39:00	38:41
45	31:42	31:37	31:33	31:29	31:24	40:05	39:38	39:16	38:56	38:38
50	31:00	30:56	30:52	30:47	30:42	40:01	39:34	39:12	38:52	38:33
52	30:44	30:38	30:34	30:30	30:26	39:58	39:31	39:09	38:50	38:31
54	30:27	30:22	30:18	30:13	30:09	:56	:29	:06	:47	:29
56	30:10	30:04	30:00	29:57	29:52	:53	:26	:04	:45	:27
58	29:53	29:48	29:44	29:40	29:35	:50	:23	39:01	:42	:24
60	29:36	29:30	29:26	29:22	29:18	:47	:20	38:58	:38	:20
62	29:18	29:12	29:08	29:05	29:01	:43	:15	:52	:33	:16
64	29:00	28:55	28:51	28:49	28:44	:40	:10	:47	:29	:11
66	28:41	28:36	28:33	28:30	28:27	:35	:05	:42	:24	:07
68	28:22	28:18	28:15	28:12	28:09	:29	39:00	:38	:19	38:02
70	28:03	28:00	27:56	27:54	27:52	:23	38:55	:32	:13	37:57
72	27:45	27:42	27:40	27:39	27:37	:16	:49	:27	:08	:51
74	27:28*	27:25	27:23	27:22	27:20	:10*	:43	:21	38:02	:46
76	27:10	27:07*	27:06*	27:05*	27:04	:04	:36*	:15*	37:56*	:40
78	26:58	26:55	26:53	26:51	26:48*	:03	:35	:12	:52	:34*
80	26:47	26:43	26:41	26:38	26:36	:02	:34	:11	:51	:33
82	26:34	26:31	26:29	26:27	26:25	39:01	:32	:09	:50	:32
84	26:22	26:19	26:17	26:15	26:13	38:59	:30	:07	:48	:30
86	26:10	26:07	26:04	26:03	26:02	:57	:28	:05	:46	:28
88	25:58	25:55	25:52	25:51	25:51	:55	:26	:03	:43	:26
90	25:45	25:43	25:41	25:40	25:40	:52	:24	38:01	:41	:24
95	25:17	25:13	25:12	25:11	25:10	:45	:17	37:54	:34	:17
100	24:48	24:45	24:43	24:42	24:41	:38	:10	:48	:28	:10
105	24:18	24:16	24:14	24:13	24:12	:29	38:02	:40	:20	37:03
110	23:46	23:43	23:41	23:40	23:39	:19	37:53	:31	:10	36:53
115	23:14	23:11	23:09	23:08	23:07	38:09	:43	:21	37:00	:42
120	22:40	22:37	22:35	22:34	22:33	37:58	:31	:08	36:48	:30
40						41:33	41:12	40:54	40:38	
50						40:45	40:24	40:06	39:50	
60						39:56	39:35	39:17	39:01	
70						39:08	38:46	38:28	38:12	

TABLE XXXVI

Différences des temps de propagation P'P'P'-P et temps de propagation de P'P'P' (min. : sec.) pour différentes profondeurs de foyer (en km.) et distances Δ (en degrés). *Les trois premiers chiffres de chaque colonne se rapportent aux P'P'P' diffractés.*

Δ	P'P'P'-P pour les profondeurs de foyer			P'P'P'-O pour les profondeurs de foyer				
	0	400	800	0	200	400	600	800
45	50:00	49:50	49:41	58:21	57:54	57:32	57:11	56:55
60	48:22	48:13	48:04	58:33	58:06	57:44	57:23	57:06
65	47:47	47:43	47:33	:35	:08	:46	:25	:08
70	47:28	47:27	47:19	58:48	:22	58:02	:40	:24
75	47:15	47:12	47:07	59:03	:36	:16	57:55	:39
80	47:01	46:58	46:55	:18	:49	:29	58:08	57:52
85	46:46	46:44	46:41	:29	59:01	:40	:20	58:03
90	46:32	46:30	46:28	:39	:11	:50	:29	:13
95	46:17	46:15	46:14	:47	:19	58:58	:37	:21
100	46:02	46:01	45:59	59:54	:26	59:05	:44	:27
105	45:47	45:45	45:44	60:00	:33	:11	:51	:34

TABLE XXXVII

Différences des temps de propagation SKPP'-P et temps de propagation de SKPP' (min. : sec.) pour différentes profondeurs de foyer (en km.) et distances Δ (en degrés).

Les SKPP' diffractés arrivent aux distances de 90° et davantage. A ces distances, le temps de propagation varie plus lentement qu'aux distances plus courtes. Les PKSP' arrivent plus tard que SKPP'; les différences moyennes PKSP'-SKPP' sont données dans la dernière ligne (*d*).

Δ	SKPP'-P pour les profondeurs de foyer					SKPP'-O pour les profondeurs de foyer				
	0	200	400	600	800	0	200	400	600	800
55	33:50	33:26	33:04	32:42	32:23	43:25	42:41	42:00	41:22	40:50
60	33:07	32:42	32:21	31:58	31:40	43:18	42:32	41:52	41:14	40:42
65	32:24	32:01	31:40	31:18	30:58	43:10	42:24	41:43	41:05	40:32
70	31:42	31:19	30:58	30:38	30:17	43:01	42:14	41:34	40:54	40:22
75	31:01	30:39	30:19	29:59	29:39	42:49	42:03	41:21	40:44	40:12
80	30:20	30:00	29:39	29:19	29:01	42:36	41:51	41:09	40:32	39:58
85	29:39	29:19	28:58	28:38	28:22	42:21	41:35	40:53	40:16	39:44
<i>d</i>						0:00	0:20	0:38	0:54	1:10

TABLE XXXVIII

Temps de propagation de PcP (min. : sec.).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
0	8:23	8:11	8:00	7:48	7:37	7:27	7:17	7:08
10	8:24	8:12	8:01	7:49	7:38	7:28	7:18	7:09
20	8:36	8:24	8:13	8:02	7:52	7:42	7:32	7:24
30	8:59	8:47	8:36	8:25	8:15	8:05	7:55	7:47
40	9:29	9:17	9:06	8:54	8:44	8:34	8:25	8:17
45	9:47	9:35	9:24	9:13	9:03	8:53	8:44	8:36
50	10:06	9:54	9:43	9:33	9:23	9:13	9:04	8:56
55	10:26	10:14	10:03	9:53	9:43	9:33	9:24	9:16
60	10:46	10:34	10:23	10:13	10:03	9:53	9:44	9:36
65	11:07	10:55	10:44	10:34	10:24	10:14	10:05	9:57
70	11:28	11:16	11:05	10:55	10:45	10:36	10:27	10:19
75	11:49	11:37	11:26	11:16	11:06	10:57	10:48	10:40
80	12:10	11:58	11:47	11:37	11:27	11:18	11:09	11:01
85	12:32	12:20	12:09	11:59	11:49	11:40	11:31	11:23
90	12:54	12:42	12:31	12:21	12:11	12:02	11:53	11:45

TABLE XXXIX

Différences des temps de propagation en min. : sec.

pPcP-PcP (première section),

sPcP-PcP (seconde section),

PcP-P (dernière section).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
0	0:30	0:54	1:17	1:40	2:02	2:23	2:42	3:00
30	0:28	0:52	1:14	1:36	1:57	2:16	2:36	2:52
60	0:27	0:51	1:13	1:33	1:53	2:12	2:31	2:47
90	0:26	0:50	1:12	1:32	1:52	2:10	2:28	2:44
0	0:39	1:14	1:47	2:18	2:48	3:16	3:44	4:11
90	0:37	1:12	1:44	2:15	2:42	3:09	3:35	4:00
50	1:19	1:17	1:15	1:13	1:11	1:08	1:06	1:05
60	0:46	0:45	0:43	0:42	0:40	0:38	0:36	0:34
70	0:21	0:21	0:21	0:20	0:19	0:18	0:16	0:14
80	0:07	0:07	0:07	0:07	0:06	0:05	0:04	0:04

TABLE XL

Temps de propagation de ScP en min. : sec.
et distance à laquelle la courbe se termine.

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
0	11:44	11:21	11:00	10:40	10:20	10:02	9:44	9:27
10	11:49	11:25	11:05	10:44	10:25	10:07	9:50	9:32
20	12:01	11:38	11:17	10:59	10:40	10:23	10:06	9:49
30	12:29	12:07	11:45	11:26	11:08	10:51	10:35	10:19
40	13:06	12:44	12:22	12:03	11:45	11:28	11:13	10:58
50	13:47	13:24	13:03	12:44	12:26	12:10	11:55	11:41
60	14:29	14:06	13:45	13:25	13:07	12:51	12:38	12:26
Fin	66°	65 ½°	65 ¼°	65°	64 ½°	64°	63 ½°	63°

TABLE XLI

Durée de propagation de PcS en min. : sec.
PcS se termine environ à la même distance que ScP.

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
0	11:53	11:41	11:30	11:18	11:07	10:57	10:47	10:38
10	11:58	11:45	11:34	11:23	11:12	11:02	10:52	10:43
20	12:12	11:58	11:47	11:36	11:25	11:15	11:05	10:56
30	12:39	12:26	12:15	12:04	11:54	11:44	11:35	11:26
40	13:16	13:03	12:52	12:42	12:32	12:22	12:14	12:04
50	13:57	13:45	13:34	13:24	13:13	13:04	12:55	12:46
60	14:39	14:27	14:16	14:06	13:56	13:47	13:38	13:29

TABLE XLII

Différences des temps de propagation en min. : sec.
sScP-ScP (première section),
pPcS-PcS (deuxième section).

Les temps de propagation de sPcS sont les mêmes que ceux de sScP et le temps de propagation de pScP égale celui de pPcS.

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
0	0:47	1:35	2:16	2:56	3:36	4:12	4:48	5:22
60	0:46	1:32	2:13	2:52	3:30	4:02	4:28	4:52
0	0:30	0:54	1:17	1:40	2:02	2:23	2:42	3:00
60	0:27	0:51	1:12	1:32	1:51	2:10	2:28	2:45

TABLE XLIII

Temps de propagation de ScS en min. : sec.

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
0	15:14	14:51	14:30	14:09	13:49	13:32	13:14	12:57
5	16	14:53	32	12	52	35	17	13:01
10	23	15:00	39	19	13:59	42	25	09
15	33	11	14:49	30	14:10	13:53	36	20
20	46	25	15:03	44	25	14:08	13:51	35
22	15:53	31	09	50	31	15	13:59	44
24	16:00	38	17	14:58	39	22	14:06	13:52
26	08	46	25	15:05	47	30	14	14:00
28	16	15:54	34	14	14:57	39	23	09
30	25	16:03	43	24	15:06	49	33	18
32	36	14	15:54	34	16	14:59	43	28
34	47	25	16:05	45	26	15:09	14:54	39
36	16:58	37	16	15:56	37	20	15:04	14:50
38	17:09	16:48	28	16:08	15:49	32	16	15:02
40	20	17:00	40	20	16:02	45	29	15
42	32	12	16:52	32	14	15:57	41	27
44	44	24	17:04	45	27	16:10	53	39
46	17:56	36	16	16:57	39	22	16:05	15:51
48	18:08	48	27	17:09	16:51	34	18	16:04
50	18:20	18:00	17:39	17:21	17:04	16:47	16:31	16:16
55	18:51	18:31	18:11	17:53	17:35	17:17	17:02	16:48
60	19:26	19:05	18:44	18:26	18:08	17:50	17:35	17:20
65	20:03	19:43	19:23	19:05	18:47	18:29	18:13	17:58
70	20:41	20:21	20:01	19:43	19:26	19:08	18:53	18:39
75	21:21	21:01	20:51	20:23	20:05	19:48	19:33	19:19
80	22:01	21:41	21:22	21:03	20:45	20:28	20:12	19:58

TABLE XLIV

Différences des temps de propagation en min. : sec.

pScS-ScS (les deux premières lignes),

sScS-ScS (seconde section),

ScS-S (dernière section).

Dist. degr.	Profondeur du foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
0	0:39	1:14	1:47	2:18	2:48	3:16	3:44	4:11
100	0:34	1:03	1:32	1:59	2:23	2:44	3:01	3:16
50	0:48	1:35	2:16	2:56	3:36	4:12	4:48	5:22
30	0:48	1:31	2:11	2:50	3:28	4:01	4:33	5:04
60	0:47	1:29	2:08	2:48	3:24	3:58	4:29	5:00
100	0:47	1:28	2:07	2:47	3:22	3:56	4:26	4:56
50	2:33	2:32	2:27	2:24	2:21	2:19	2:15	2:13
60	1:24	1:22	1:20	1:18	1:15	1:11	1:07	1:04
70	0:41	0:41	0:40	0:39	0:37	0:34	0:32	0:30
80	0:11	0:11	0:09	0:07	0:05	0:04	0:03	0:02

IV

DÉTERMINATION DES ÉPICENTRES

Pour éprouver les valeurs des temps de propagation indiquées ci-dessus, les impétus relatifs à certains séismes à foyer profond ont été soumis à une étude détaillée.

Les données ont été empruntées à l'International Summary, aux bulletins de station et aux séismogrammes originaux inscrits à Pasadena et Huancayo. On a aussi fait usage de séismes pour lesquels des données ont été publiées par d'autres chercheurs. Là où il a été nécessaire de déterminer ou de reviser les épacentres, on a adopté un procédé qui, précédemment, avait été utilisé avec succès dans l'étude des séismes normaux.

Le premier travail est de choisir des paires de stations sur les données desquelles on puisse compter, dont les azimuts soient aussi écartés que possible, pour lesquelles les heures d'impétus des P ne soient séparées que par de faibles intervalles de temps ne dépassant pas, de préférence, 10 secondes.

Ayant un épacentre approximatif et les données pour une paire de stations, on examine les positions relatives sur le globe. La différence de temps entre les deux stations correspond à une certaine différence de distance $\delta\Delta$. A moins que l'écart de temps ne soit grand, il ne dépendra pas beaucoup de la profondeur focale.

On remplace alors les coordonnées de la station la plus rapprochée par celles d'un point obtenu en reculant, à partir de la station à la distance $\epsilon\Delta$, sur le grand cercle allant de l'épacentre à la station. Ou bien on avancera de la station la plus éloignée de la distance $\delta\Delta$ sur le grand cercle qui va de cette station à l'épacentre.

De cette manière, on trouve les coordonnées de deux points : le premier étant l'une des deux stations, le second remplaçant la deuxième station. Ces points sont à égale distance de l'épacentre corrigé qui, en conséquence, doit être

sur le grand cercle perpendiculaire à l'axe de grand cercle joignant les deux points et partageant celui-ci en parties égales.

Chaque paire de stations détermine ainsi un grand cercle passant par l'épicentre.

Une seconde valeur approchée des coordonnées de l'épicentre peut être obtenue maintenant par la méthode des moindres carrés. Pour poser les équations appropriées, on utilise une projection centrale, indiquée par Galitzine (6). L'origine de la projection est le centre de la terre et le plan de projection est parallèle au plan équatorial.

Les équations de cette projection sont :

$$x = \cot \varphi \cos \lambda \quad y = \cot \varphi \sin \lambda \quad (1)$$

où φ et λ sont suivant l'usage la latitude et la longitude. Cette projection présente l'avantage que tous les grands cercles sont transformés en lignes droites (l'équateur est rejeté à l'infini).

L'équation de la ligne droite représentant le grand cercle équidistant des points $(\varphi_1 \lambda_1)$, $(\varphi_2 \lambda_2)$ est :

$$(\cos \varphi_1 \cos \lambda_1 - \cos \varphi_2 \cos \lambda_2) x + (\cos \varphi_1 \sin \lambda_1 - \cos \varphi_2 \sin \lambda_2) y + (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) = 0 \quad (2)$$

Chaque paire de stations donne une équation de ce type ; comme elle est linéaire en x et y , le système entier peut être résolu par la méthode des moindres carrés.

Si la solution est obtenue sous la forme

$$x = A \pm a \quad y = B \pm b \quad (3)$$

les coordonnées cherchées $\varphi \lambda$, avec les erreurs moyennes, sont fournies par les formules

$$\begin{aligned} \cotg \varphi &= \sqrt{A^2 + B^2} \pm \sqrt{\frac{a^2 A^2 + b^2 B^2}{A^2 + B^2}} \\ \tang \lambda &= \frac{B}{A} \pm \frac{1}{A^2} \sqrt{b^2 A^2 + a^2 B^2} \end{aligned} \quad (4)$$

Le travail qui consiste à appliquer la méthode des moindres carrés peut être simplifié si on utilise, en première approximation, les coordonnées trouvées en faisant le graphique des lignes droites représentées par les équations du type 2.

TABLE XLV

Distance correspondant à l'intervalle de temps S-P (en min. : sec.) pour des séismes peu profonds et intervalle de temps P-O (en min. : sec.) pour les séismes de profondeurs diverses.

S-P	Dist. degr.	P-O pour les profondeurs de foyer en km.				
		25	200	400	600	800
1:00	4.9	1:18	1:18	1:18	1:18	1:17
10	5.8	1:30	1:30	1:30	1:30	1:29
20	6.7	1:43	1:42	1:43	1:43	1:42
30	7.6	1:55	1:54	1:56	1:56	1:54
40	8.6	2:07	2:06	2:09	2:08	2:07
50	9.5	2:20	2:19	2:22	2:21	2:20
2:00	10.4	2:33	2:32	2:34	2:34	2:30
10	11.3	2:46	2:46	2:47	2:47	2:43
20	12.2	2:58	3:00	3:00	3:00	2:56
30	13.1	3:10	3:14	3:13	3:13	3:09
40	13.9	3:22	3:27	3:25	3:25	3:21
50	14.8	3:34	3:39	3:36	3:38	3:34
3:00	15.8	3:46	3:50	3:47	3:49	3:47
10	16.8	3:58	4:00	3:59	4:00	3:59
20	17.8	4:10	4:11	4:10	4:10	4:11
30	18.8	4:22	4:22	4:22	4:21	4:24
40	19.9	4:35	4:34	4:34	4:33	4:36
50	21.0	4:48	4:47	4:46	4:45	4:49
4:00	22.2	5:00	5:00	4:59	4:58	5:03
10	23.5	5:12	5:12	5:11	5:11	5:16
20	24.7	5:24	5:25	5:23	5:24	5:30
30	25.9	5:35	5:38	5:36	5:38	5:45
40	27.1	5:46	5:51	5:50	5:53	5:59
50	28.4	5:58	6:04	6:02	6:09	6:13
5:00	29.9	6:11	6:16	6:15	6:24	6:24
10	31.4	6:25	6:28	6:28	6:37	6:34
20	33.0	6:38	6:41	6:42	6:49	6:44

TABLE XLV (*fin*)

S-P	Dist. degr.	P-O pour les profondeurs de foyer en km.				
		25	200	400	600	800
30	34.6	6:52	6:54	6:55	7:00	6:54
40	36.2	7:05	7:08	7:07	7:11	7:05
50	37.7	7:19	7:21	7:20	7:23	7:16
6:00	39.3	7:34	7:34	7:33	7:35	7:28
10	41.0	7:49	7:47	7:46	7:49	7:41
20	42.8	8:03	8:00	7:59	8:01	7:54
30	44.4	8:15	8:13	8:12	8:12	8:08
40	45.9	8:27	8:26	8:24	8:23	8:21
50	47.4	8:40	8:38	8:37	8:35	8:34
7:00	49.0	8:52	8:51	8:50	8:46	8:47
10	50.5	9:03	9:02	9:01	8:58	9:00
20	52.0	9:13	9:14	9:12	9:11	9:13
30	53.4	9:22	9:26	9:24	9:24	9:26
40	54.8	9:32	9:36	9:35	9:36	9:38
50	56.3	9:43	9:46	9:46	9:47	9:50
8:00	58.0	9:55	9:57	9:58	9:58	10:01
10	59.9	10:09	10:09	10:10	10:10	10:11
20	61.9	10:23	10:22	10:23	10:22	10:20
30	63.9	10:36	10:35	10:37	10:32	10:28
40	65.8	10:48	10:48	10:49	10:42	10:36
50	67.8	11:00	11:00	10:59	10:52	10:45
9:00	69.7	11:12	11:12	11:08	11:03	10:55
10	71.5	11:24	11:22	11:17	11:13	11:05
20	73.4	11:35	11:32	11:26	11:22	11:15
30	75.3	11:46	11:41	11:35	11:31	11:24
40	77.2	11:56	11:51	11:44	11:40	11:34
50	79.1	12:06	12:01	11:53	11:49	11:44
10:00	80.8	12:15	12:10	12:02	11:59	11:54
10	82.4	12:24	12:20	12:12	12:10	12:05
20	84.0	12:32	12:29	12:23	12:21	12:16
30	85.7	12:41	12:38	12:34	12:32	12:27
40	87.5	12:50	12:48	12:45	12:43	12:38
50	89.6	13:00	12:58	12:55	12:54	12:48
11:00	91.9	13:11	13:09	13:05	13:05	12:58
10	94.4	13:22	13:19	13:16	13:16	13:08
20	97.0	13:33	13:30	13:27	13:27	13:18
30	99.5	13:45	13:41	13:39	13:38	13:29

V

DÉTERMINATION DE L'HEURE ORIGINE

Dans une note précédente (4) nous avons indiqué que P-O en tant que fonction de S-P ne dépend pas beaucoup de la profondeur de foyer. Si on utilise les tables VI et XV, il devient maintenant possible de calculer les valeurs de P-O correspondant à une valeur donnée de S-P pour diverses profondeurs. Les résultats sont donnés dans la table XLV. Cette table montre que l'effet de profondeur n'est appréciable que pour les plus grandes profondeurs utilisées et, même dans ce cas, seulement pour les distances dépassant 60°. En conséquence, l'application des différences S-P, tabulées pour les séismes normaux, à la détermination P-O pour les séismes à foyers profonds, fournira une valeur approchée presque suffisamment exacte de l'heure origine. Cependant cette méthode est tributaire du manque bien connu de certitude dans l'identification des S, même si la profondeur est connue et si la valeur correcte P-O a été tirée de la table XLV.

Le Père Sohon (7) a suggéré un perfectionnement de ce procédé, dans lequel l'heure de S est remplacée par la moyenne arithmétique des heures de S et sS, tandis que l'heure de P est remplacée aussi par la moyenne de P et pP. En opérant ainsi pour améliorer la méthode de S-P, il y a encore incertitude quant à l'identification de S, sS et parfois de pP.

Quand l'épicentre a été déterminé d'une autre manière, la méthode de Sohon fournit une détermination très précise de l'heure origine, car

$$0 = \frac{1}{2} (pP + P) - t_0 \quad (5)$$

où t_0 est le temps de propagation des ondes P (P-O) pour une profondeur zéro et la même distance épacentrale. Le calcul montre que, jusqu'aux profondeurs hypocentrales de

800 km., ce procédé conduit à des heures origine qui s'accordent à un très petit nombre de secondes près avec les données des tables VI, VII et VIII. Afin d'éviter la nécessité d'effectuer constamment la réduction de la profondeur normale (supposée 25 km.) à la profondeur zéro, nous avons écrit l'équation correspondante sous la forme :

$$0 = \frac{1}{2} (pP + P) - t_p - c, \quad (6)$$

où t_p est le temps de propagation pour une secousse normale à la distance épacentrale donnée, et où c a les valeurs données dans la table XLVI. Ces valeurs tabulées comprennent la correction depuis zéro jusqu'à la profondeur normale, aussi bien que les petites erreurs de la méthode Sohön.

On peut voir par la table que, si l'on fait $c = 4$ sec., la méthode donne l'heure origine correcte pour toute profondeur inconnue ne dépassant pas 800 km., avec une erreur maximum de 2 secondes pour les plus grandes de ces profondeurs (excepté aux distances de 0° à 50°). Si la profondeur est connue, la valeur propre de c peut être tirée des tables et l'heure origine peut alors être obtenue.

Un exemple de cette méthode est donné dans la table XLVII. Les écarts à la moyenne sont assez faibles, bien que les conditions soient peu favorables, car l'épicentre ne pouvait pas être déterminé de manière vraiment précise et la profondeur avait une valeur inaccoutumée.

L'usage de $P'P'$, $PKKP$, etc., pour déterminer l'heure origine, sera examiné dans le paragraphe VII ci-dessous.

TABLE XLVI

Corrections (en secondes) c utilisées dans le calcul du temps O

$$\text{à partir de } O = \frac{pP + P}{2} - t_p - c.$$

t_p est le temps de propagation des ondes longitudinales dans une secousse à profondeur normale, foyer supposé à 25 km. de profondeur. *Les deux dernières lignes se rapportent à P' .*

Dist. degr.	Profondeur en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
30	4	5	4	3				
40	4	3	3	3	1	0		
50	5	5	3	3	1	2	2	1
60	3	4	3	5	2	2	3	3
70	5	5	4	5	5	3	3	3
80	4	4	5	5	4	4	3	4
90	5	5	4	5	4	4	4	3
100	4	5	4	5	4	4	3	3
110	4	4	4	4	4	4	4	4
145	4	4	4	3	3	4	4	4
180	4	4	4	4	4	4	4	4

TABLE XLVII

Calcul du temps origine à partir de $(pP + P)/2$; séisme B (1933, 29 août, Amérique du Sud; profondeur de foyer, environ 650 km.). L'heure origine est 14 h. 52 m. plus s sec.; moyenne : $36^s \pm 4^s$.

Station	Dist. degr.	s sec.	Station	Dist. degr.	s sec.
Charlottesville	49.5	32	Berkeley	69.3	31
Georgetown	50.1	34	Victoria	75.9	40
Pittsburgh	52.1	35	Malaga	77.3	39
St. Louis	53.0	35	Cartuja	78.0	43
Harvard	53.3	35	Almeria	78.8	41
Florissant	53.3	32	Toledo	78.9	37
Ottawa	56.4	36	Alicante	80.8	41
La Jolla	63.1	33	Uccle	88.5	36
Riverside	63.9	31	De Bilt	89.4	36
Pasadena	64.4	30	Strasbourg	89.9	38
Mt. Wilson	64.4	32	Stuttgart	90.8	36

VI

CALCUL DE LA PROFONDEUR

Il y a deux méthodes générales pour déterminer la profondeur du foyer : *a)* en partant des intervalles entre les phases inscrites ; dans ce cas, il n'est pas nécessaire de connaître l'heure origine et il n'est besoin de connaître la distance qu'avec une approximation grossière ; *b)* en partant des temps de propagation des diverses phases, quand la distance et l'heure origine ont été déterminées.

a) C'est le procédé naturel quand on ne dispose que des données d'une seule station ; mais, comme il exige que les phases aient été correctement identifiées, il y a un risque fréquent d'erreurs importantes, qui ne peut être écarté qu'en utilisant les données de plusieurs stations. L'intervalle le plus important utilisé à cet effet est $pP-P$ ou $pP'-P'$. La table XLVIII fournit la profondeur correspondant aux valeurs données de cet intervalle à différentes distances. Les intervalles $sP-P$ et $sS-S$, contenus dans la même table, sont utilisables comme vérification ou de manière indépendante.

L'usage de l'intervalle $P'P'-P$ (8) ou $PKKP-P$ (*On seismic Waves*, I, p. 116) présente quelques particularités. Ces intervalles ne varient que lentement avec la profondeur, mais rapidement avec la distance ; si bien que la distance approximative de la secousse, sans égard à la profondeur focale, peut être tirée des données des tables XXXV et XXXIII respectivement.

Cette détermination, relativement précise, élimine souvent l'incertitude quant à l'identification de pP , sP , etc., si bien que toutes les phases observées sont alors utilisables pour déterminer le temps origine et ensuite la profondeur.

L'usage de $sScS-ScS$ a été envisagé par Hayes (9) (voir table XLIV).

b) Certaines durées de trajet fournissent des déterminations de la profondeur bien plus précises que d'autres. Cela

ressort de la table V. La différence de temps correspondant à une différence donnée de la profondeur focale est presque deux fois plus grande pour les ondes émises sous forme de transversales que pour les ondes partant du foyer sous forme de longitudinales.

Pourtant, en général, l'usage de S direct n'est pas à conseiller, parce que le temps de propagation de cette phase présente encore un nombre de problèmes non résolus, du fait que les observations manquent souvent de précision en raison de la faiblesse des amplitudes et du début mal défini de cette phase.

De bons résultats peuvent généralement être obtenus à partir de SKS-O à des distances comprises entre 90° et 130° , et de ScS-O de 0° à 50° . Des résultats précis peuvent aussi être souvent atteints par sScS pour l'intervalle restreint de distances (jusqu'à environ 30°) dans lequel cette phase est observée.

P-O n'est pas une donnée tout à fait aussi propre à la détermination de la profondeur qu'on pourrait s'y attendre, car la plus grande sûreté des observations est compensée par le fait que les variations dans la profondeur n'entraînent que des variations des temps à peu près moitié de celles du groupe de phases S.

Les profondeurs tirées de P-O se montrent en général plus dispersées que celles déterminées par les autres voies examinées ci-dessus. PP-O conduit à des résultats encore moins exacts.

Il arrive qu'on puisse éventuellement disposer d'autres phases. De très bons résultats peuvent être obtenus à l'occasion par sP et SP, qui, théoriquement, sont très favorables à l'application de cette méthode, parce que leurs temps de propagation présentent la sensibilité à la profondeur caractéristique des ondes S et que leur observation se fait avec la précision des ondes longitudinales.

TABLE XLVIII

Profondeur du foyer en km. et intervalles de temps sP-P et sS-S en min. : sec. pour un intervalle de temps pP-P à des distances diverses. *Les deux dernières colonnes se rapportent à P'.*

pP-P	Distance en degrés									
	30	40	50	60	70	80	90	100	142	180
0:20	100	95	85	80	75	75	75	75	70	65
	0:33	0:33	0:33	0:30	0:28	0:29	0:29	0:29	0:26	0:23
	0:39	0:38	0:38	0:37	0:36	0:35	0:36	0:38	—	—
0:25	125	120	110	100	100	95	95	95	90	85
	0:41	0:41	0:39	0:36	0:36	0:36	0:36	0:36	0:34	0:30
	0:47	0:47	0:47	0:45	0:44	0:43	0:45	0:47	—	—
0:30	150	145	135	125	120	115	115	115	110	100
	0:48	0:49	0:46	0:43	0:43	0:43	0:42	0:42	0:41	0:38
	0:56	0:57	0:57	0:53	0:52	0:51	0:53	0:54	—	—
0:35	180	170	160	145	140	140	140	140	130	120
	0:56	0:57	0:54	0:49	0:50	0:50	0:50	0:50	0:48	0:46
	1:04	1:07	1:06	1:01	1:00	0:59	1:01	1:04	—	—
0:40	205	195	185	165	160	160	160	160	150	140
	1:03	1:05	1:02	0:56	0:57	0:57	0:57	0:57	0:55	0:52
	1:11	1:16	1:15	1:10	1:08	1:08	1:10	1:12	—	—
0:45	230	220	210	190	180	180	180	180	175	160
	1:11	1:12	1:11	1:04	1:05	1:05	1:05	1:05	1:03	1:00
	1:19	1:24	1:24	1:19	1:17	1:17	1:19	1:21	—	—
0:50	255	245	235	215	205	205	205	205	195	185
	1:18	1:19	1:17	1:12	1:13	1:13	1:13	1:13	1:11	1:07
	1:26	1:32	1:33	1:27	1:25	1:25	1:28	1:30	—	—
0:55	280	270	260	240	230	225	225	225	215	205
	1:26	1:27	1:25	1:20	1:20	1:20	1:20	1:20	1:18	1:14
	1:33	1:39	1:42	1:36	1:33	1:33	1:36	1:38	—	—
1:00	310	300	290	265	255	250	250	250	235	225
	1:34	1:35	1:33	1:27	1:27	1:28	1:28	1:28	1:25	1:21
	1:40	1:46	1:51	1:45	1:42	1:42	1:45	1:48	—	—
1:05	345	330	315	290	275	270	270	270	255	245
	1:43	1:43	1:41	1:35	1:35	1:35	1:35	1:35	1:33	1:28
	1:47	1:56	1:59	1:54	1:51	1:50	1:53	1:56	—	—

TABLE XLVIII (*suite*)

pP-P	Distance en degrés									
	30	40	50	60	70	80	90	100	142	180
1:10	385	365	345	320	300	295	295	295	280	265
	1:53	1:53	1:49	1:43	1:43	1:43	1:42	1:42	1:40	1:36
	1:54	2:06	2:08	2:04	2:00	1:58	2:01	2:04	—	—
1:15	425	405	375	350	330	320	315	315	300	290
	2:03	2:03	1:57	1:51	1:51	1:51	1:50	1:50	1:47	1:43
	2:00	2:17	2:17	2:14	2:10	2:07	2:10	2:14	—	—
1:20		445	410	380	355	345	340	340	325	310
		2:13	2:05	1:59	1:58	1:58	1:57	1:57	1:55	1:50
		2:28	2:26	2:23	2:19	2:15	2:18	2:23	—	—
1:25		480	440	410	385	370	365	365	350	335
		2:23	2:14	2:07	2:06	2:06	2:04	2:04	2:03	1:57
		2:38	2:35	2:32	2:28	2:23	2:26	2:32	—	—
1:30		520	470	440	415	395	385	385	375	355
		2:32	2:22	2:15	2:14	2:13	2:11	2:11	2:10	2:04
		2:47	2:44	2:41	2:37	2:31	2:35	2:41	—	—
1:35		560	500	470	440	420	410	410	395	375
		2:42	2:31	2:23	2:22	2:20	2:17	2:17	2:17	2:12
		2:56	2:53	2:49	2:46	2:39	2:44	2:50	—	—
1:40		605	535	505	465	445	435	435	420	400
		2:52	2:39	2:32	2:30	2:27	2:24	2:24	2:25	2:19
		3:04	3:02	2:57	2:55	2:48	2:53	2:59	—	—
1:45			570	535	495	475	460	460	450	425
			2:47	2:40	2:38	2:35	2:31	2:31	2:33	2:26
			3:11	3:06	3:04	2:57	3:02	3:08	—	—
1:50			605	570	525	500	485	485	475	445
			2:55	2:49	2:46	2:42	2:38	2:38	2:41	2:33
			3:20	3:15	3:14	3:05	3:11	3:17	—	—
1:55			640	605	560	530	515	515	500	470
			3:04	2:58	2:54	2:49	2:45	2:45	2:48	2:40
			3:29	3:24	3:23	3:14	3:20	3:26	—	—
2:00			675	640	595	565	545	545	525	495
			3:12	3:08	3:03	2:57	2:53	2:53	2:56	2:47
			3:38	3:34	3:33	3:23	3:29	3:36	—	—
2:05			715	680	630	595	570	570	555	515
			3:21	3:17	3:11	3:05	3:01	3:01	3:03	2:54
			3:48	3:44	3:42	3:33	3:38	3:45	—	—
2:10			760	720	665	625	600	600	580	540
			3:31	3:26	3:20	3:13	3:09	3:09	3:11	3:01
			3:58	3:54	3:51	3:42	3:46	3:55	—	—

TABLE XLVIII (*fin*)

pP-P	Distance en degrés									
	30	40	50	60	70	80	90	100	142	180
2:15			805	760	700	655	630	630	610	565
			3:41	3:35	3:28	3:21	3:16	3:16	3:19	3:08
			4:08	4:04	4:01	3:52	3:55	4:05	—	—
2:20				805	740	690	660	660	635	590
				3:44	3:37	3:28	3:24	3:24	3:26	3:15
				4:14	4:11	4:01	4:04	4:14	—	—
2:25					780	720	690	690	665	620
					3:46	3:36	3:32	3:31	3:33	3:23
					4:21	4:10	4:13	4:23	—	—
2:30					820	755	720	715	690	645
					3:55	3:44	3:40	3:39	3:40	3:30
					4:30	4:19	4:22	4:32	—	—
2:35						785	755	745	720	670
						3:51	3:48	3:46	3:47	3:38
						4:27	4:31	4:41	—	—

VII

INTERPRÉTATION D'UN SÉISMOGRAMME ISOLÉ

La manière de procéder suivante a été trouvée avantageuse à Pasadena, et l'on s'y tient pour autant que les données sont disponibles.

1) La distance est déterminée par P'P'-P (table XXXV) ou PKKP-P (table XXXIII).

2) O est obtenu en utilisant S-P, d'où résulte P-O (table XLV). A partir de ces mêmes données, on détermine Δ_{25} , la distance correspondant au séisme normal de même différence P-O.

3) La profondeur est déduite de P'P'-O ou PKKP-O (tables XXXV et XXXIII).

4) Comme distance, heure origine et profondeur sont maintenant connues en première approximation, l'identification des phases peut être soumise à vérification et la profondeur

peut être déterminée indépendamment par pP-P, sP-P, sS-S, etc...

5) Une distance corrigée peut être obtenue par l'application à Δ_{25} de la correction donnée dans la table XLIX. [Cette table remplace les données publiées sous la figure 2 de notre précédent mémoire (4)]. Il y a lieu de remarquer que cette figure était déduite des tables de Jeffreys pour les séismes normaux, tandis que la table XLIX actuelle a été calculée à partir des temps de propagation contenus dans la table XLV.

6) Une vérification finale peut maintenant être faite par la comparaison de toutes les phases inscrites avec la courbe des temps de propagation construite pour la profondeur appropriée, semblable à la figure 1.

Cette manière de procéder s'applique plus particulièrement aux séismes à foyers profonds à des distances n'excédant pas 120° environ. Des séismes à foyer profond à de plus grandes distances sont rarement inscrits à Pasadena et sont étudiés par l'utilisation directe des hodochrones appropriées.

TABLE XLIX

Corrections (en degrés) pour la profondeur de foyer
à ajouter aux distances tirées de la table XLV.

Dist. degr.	Profondeur de foyer en km.							
	100	200	300	400	500	600	700	800
10	— $\frac{1}{2}$	0	0	0	0	0	0	0
15	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
20	$\frac{1}{2}$	1	1 $\frac{1}{2}$	2	2	2	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$
25	1	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	4	4 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$
30	1 $\frac{1}{2}$	2	3	4	5	6	7	8 $\frac{1}{2}$
35	1	2	3	4	5 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	9
40	1	2	3	4 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$
45	1	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$
50	1 $\frac{1}{2}$	3	4	5	6	7	8	9
55	1 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	8	9	10
60	1 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	6	7	8 $\frac{1}{2}$	10	11
65	1 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	6	7 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	10	11
70	1 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	6	7	8	9 $\frac{1}{2}$	11
75	1 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	8	9 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$
80	1 $\frac{1}{2}$	3	4 $\frac{1}{2}$	6	7	9	10 $\frac{1}{2}$	13
85	2	3 $\frac{1}{2}$	5	7	8 $\frac{1}{2}$	10 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{2}$	14
90	2	3 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	8	10	12	13 $\frac{1}{2}$	15
95	2	4	6	8 $\frac{1}{2}$	10 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{2}$	14	15 $\frac{1}{2}$
100	2	4	6	8 $\frac{1}{2}$	10 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{2}$	14	15 $\frac{1}{2}$

TABLE L
Liste de séismes.

Date	Région	Latitude	Longitude	Heure origine tirée de S-P			
				de S-P		de pP+P 2	
				h. m. s.	s.	s.	s.
A 1931, Fév. 20	E. Sibérie	44°3'N.	135°5'E.	5 33	21±5 ½	24	±2
B 1933, Août 29	S. Amérique	10°56'S.±29'	69°28'W.±1°24'	14 52	33±6	36	±4
C 1932, Janv. 9	Iles Salomon	6°10'S.±7'	154°30'E.±39'	10 21	45±5 ½	42	±2
D 1934, Janv. 3	Kamchatka	52°50'N.±9'	156°39'E.±28'	9 42	24±6	27	±3 ½
E 1928, Mars 29	S. du Japon	31°45'N.	138°12'E.	5 06	02±5 ½	03	±2 ½
F 1933, Sept. 2	do.	29°05'N.±23'	138°46'E.±34'	16 41	14±5	08	±1 ½
G 1932, Avril 4	do.	do.	do.	19 16	34±6 ½	31	±3
H 1929, Fév. 1	Hindou Kouch	36°5'N.	70°5'E.	17 14	17±9	26	½±3
I 1921, Nov. 15	do.	do.	do.	20 36	32±7	38	½±4 ½
J 1928, Août 10	do.	do.	do.	15 33	40±7	(48 s.)	
K 1931, Oct. 5	do.	do.	do.	22 31	22±6	27	±3
L 1933, Janv. 9	do.	do.	do.	2 01	36±6	43	±2
M 1934, Juillet 22	do.	do.	do.	19 56	49±6	57	±3
N 1934, Nov. 18	do.	do.	do.	3 21	15±6	24	±3
O 1935, Déc. 14	S. Amérique	voisin de B.	voisin de B.	1 +			
P 1935, Déc. 16	do.	do.	do.	16 +			

Remarques. — Séisme A : épicentre donné par Scrase. Séisme E : épicentre donné par Stechschulte. Séisme G : même épicentre adopté que pour le séisme F, d'après la comparaison des temps de propagation; voir table LI *b*. Séismes I à N : même épicentre adopté que pour le séisme H; voir table LI *a*; l'épicentre du séisme H a été obtenu par Jeffreys. Pour les séismes B, O et P, voir table LI *c*.

VIII

APPLICATION DES MÉTHODES A DES SÉISMES CHOISIS

La table L donne la liste des séismes qui ont été choisis pour éprouver les données et les méthodes exposées dans les paragraphes précédents. Les épicentres des secousses B, C, D et F ont été obtenus par les méthodes du paragraphe IV. Les erreurs moyennes des coordonnées (et les heures origine)

sont données dans la table ; pour le séisme A, nous avons utilisé l'épicentre déterminé par F. J. Scrase (10) ; pour le séisme E, celui qu'a trouvé Stechschulte (11) et, pour le séisme H, l'épicentre donné dans l'*International Seismological Summary* (ce séisme a été l'objet d'une étude spéciale de Jeffreys) (12). On trouve que les temps de propagation du choc G concordent avec ceux du choc F dans les limites d'erreurs. Des données choisies pour P, S et pP-P sont données dans la table LI *b*. Elles sont tout à fait représentatives des données des meilleures stations ; le même épicentre a été utilisé en conséquence pour les deux séismes.

Des remarques semblables s'appliquent aux séismes de l'Amérique du Sud, B, O et P ; les deux derniers n'ont pas encore été examinés dans les détails, mais les données utiles, dont la table LI *c* donne un extrait, indiquent que les foyers n'ont pas dû être notablement séparés. Le séisme P concorde particulièrement bien avec le séisme O, dont on le doit considérer comme étant une réplique. Un nombre considérable de séismes peuvent être trouvés dans l'*International Summary* et les bulletins du réseau des stations russes, qui ont leur origine dans la région Hindou-Kouch et mettent en évidence les caractéristiques des foyers profonds.

Les heures publiées de nombre d'entre eux ont été comparées par la méthode des différences avec celles du séisme H. Une partie des données pour quelques-unes des meilleures stations qui ont inscrit la majorité de ces séismes est reproduite dans la table LI *a*. On verra qu'il est nettement justifié de rapporter tout le groupe de séismes H à N inclusivement à un foyer commun, dans des limites étroites d'erreurs.

Le séisme le plus grand de ce groupe est le séisme I¹ ; en raison de sa date antérieure, les temps ne sont pas aussi sûrs que ceux des derniers tremblements. Néanmoins, la concordance est très bonne. Quelques séismogrammes de cette secousse ont été publiés (13) ; ils ont été soigneusement examinés pour l'étude présente. La secousse L est la plus grande des derniers séismes de ce groupe.

Les heures origine de ces séismes ont été déterminées par S-P et par $(pP + P)/2$, comme on l'a expliqué dans le paragraphe V ; les résultats sont donnés dans la dernière colonne de la table L. Vingt à quarante stations avaient été utilisables dans les divers séismes. L'erreur moyenne en secondes accompagne chaque temps indiqué. Les erreurs pour la seconde méthode sont considérablement plus faibles que celles de S-P, ce qui indique une plus faible dispersion des résultats ; il faut s'attendre à cette conclusion d'après le caractère des observations de la phase S. Pourtant, cette plus faible dispersion à partir de la seconde méthode ne doit pas exclure la possibilité d'erreurs systématiques. Cela peut être examiné en comparant les résultats des deux méthodes qui, en général, sont concordants. Dans le cas de l'Hindou-Kouch, un grand nombre des meilleures stations sont à des distances de 45° à 55° , où le commencement de S est fréquemment mal défini ; cela se traduit par un retard dans les lectures pour S et par suite une avance dans l'heure origine.

D'un autre côté, les heures origine déterminées par P et pP sont probablement en retard par suite de lectures tardives de l'une ou des deux phases.

Lorsque les temps déterminés par les deux méthodes coïncident, comme ici, il est très probable que le résultat n'est pas entaché d'erreurs systématiques.

Les heures origine données dans la dernière colonne de la table L ont été adoptées pour servir dans les calculs et études ultérieurs.

Des profondeurs focales calculées sont données dans la table LII. Les trois premières colonnes contiennent les profondeurs trouvées par les différences entre les phases ; elles sont indépendantes de l'heure origine et dépendent, dans une très faible mesure, de l'épicentre. La très bonne concordance entre ces résultats et ceux des trois colonnes suivantes, qui dépendent de l'heure origine, indique que l'heure origine utilisée dans ces cas ne peut plus être très inexacte. La coïncidence générale entre tous les résultats prouve qu'il ne

b) Séismes sud du Japon (F et G de la table L).
Profondeur de foyer, 410 km.

Station	Dist. degr.	Temps de propagation (m. : s.) de				Différence pP-P	
		P		S		F	G
		F	G	F	G		
Nagoya	6.1	1:36	1:33	2:42	2:38		
Manila	22.0	4:34	4:35	8:20			
Palau	22.2	4:40	4:43	8:18	8:22		
Hong Kong	23.2	4:42	4:41	8:26	8:23		
Taskent	56.6	9:09	9:07	16:21	16:19		
Simferopol	79.3	11:27	11:25	20:47	20:41		
Pasadena	83.8	11:49	11:49	21:29	21:34	1:33	1:36
Copenhagen	83.3	11:48	11:46	21:26	21:26	1:32	1:40
Stuttgart	90.2	12:19	12:17	21:31		1:36	1:41
La Paz P'	152.2	19:11	19:12				

c) Séismes en Amérique du Sud (B, O et P de la table L).
Profondeur de foyer, environ 650 km.

Station	Dist. degr. B	Différence dans l'heure d'arrivée						pP-P (min. : sec.)		
		séisme O-séisme B 836 j. 10 h. 38 m. plus sec. :			séisme P-séisme O 2 j. 15 h. 26 m. plus sec. :			séisme		
		P	pP	S	P	pP	S	B	O	P
Huancayo	5.8	39		37						
San Juan	29.4	24								
Georgetown	50.1	31		22				1:54		
Ottawa	56.4	26		16	08		08	1:58		
Pasadena	64.4	28	37	21	10	02	11	2:03	2:12	2:04
Toledo	78.8	34		39	07		01	2:08		
Uccle	88.4	36	35		07			2:16	2:15	
Strasbourg	89.9	25	34		15			2:09	2:18	
Trieste	93.1			36	09					
		P'			P'					
Nagoya	146.0	32			10					
Chiufeng	150.6	34			11					
Manila	169.2	37								

TABLE LII
Profondeur calculée du foyer.

Date du séisme	Région du séisme	Profondeur en km. calculée d'après						Remarks
		pP-P	sP-P	sS-S	P-O	SKS-O	ScS-O	
1931, Fév. 20	E. Sibérie	350±20	360±25	365±15	350±25	350±25	320	Serasc 360
1933, Août 29	Amérique du Sud	640±15			660±60	650±35	670±50	P' 620±55
1932, Janv. 9	Iles Salomon	400±20		400±35	375±25	380±35		pP'-P' 360±30
1934, Janv. 3	Kamchatka	280±20	300±20	300±20	280±20	280±40	260±30	
1928, Mars 29	S. Japon	420±15		410±10	410±35	410±20	410±35	Steichschulte 410
1933, Sept. 2	do.	410±10		430±70	400±60	420±20	390±20	seulement 4 sS
1932, Avril 4	do.	430±15			400±45	420±15		
1929, Fév. 1	Hindou-Kouch	240±20	235±15	210±15	220±30	215±20		Jeffreys 212
1921, Nov. 15	do.	230±15		200±15	220±30	220±25	200±20	
1928, Août 10	do.		230±5		230±35			
1931, Oct. 5	do.	230±20	230±20	210±30	220±30	210		seulement 3 SKS
1933, Janv. 9	do.	240±30	230±20	210±20	230±30	220±15	210±15	
1934, Juillet 22	do.	260±20	250±20	225±10	250±40	210±35		faible séisme
1934, Nov. 18	do.	230±20	220±10	210±30	220±30			do.

TABLE LIII
Différences moyennes entre les durées de trajet observées
et calculées en secondes.

Date du séisme	Profondeur km.	Différence observée moins calculée pour					autres
		pP	pPP	SP	sP	sS	
1931, Fév. 20	350	1±3	—4	1	2	10	PPP 0±8
1933, Août 29	650	—3					P'P' 10
1932, Janv. 9	380	1±3	—10				
1934, Janv. 3	280	0±4			2±4	10	P'P' —9
1928, Mars 29	420	1		1		2	
1933, Sept. 2	410	—1±3	—7	—6			SKPP' —2
1932, Avril 4	410	3				0	
1929, Fév. 1	220	3	—2		2±2	2	Différences pour tous les séismes de ce groupe calculées pour une profondeur de 220 km.
1921, Nov. 15	215	—2				2	
1928, Août 10	230				1±2	5	
1931, Oct. 5	220	—2±3	1		—1	0	
1933, Janv. 9	220	0±3	—6		0	0	
1934, Juillet 22	230	1	0		4	0	
1934, Nov. 18	220	0±5	5		—1	6	

IX

RAPPORT PRÉLIMINAIRE SUR LES SÉISMES ÉTUDIÉS

Les paragraphes suivants contiennent les résultats des caractéristiques des tremblements à foyer profond, obtenus incidemment dans l'étude des séismes choisis. Cette communication est seulement préliminaire ; nous espérons que la recherche sera continuée et rapportée dans des publications ultérieures.

Il semble qu'il sera possible d'effectuer une amélioration générale dans les données des temps de propagation, en faisant usage des observations sur les séismes à foyer profond. Cela est dû principalement à cette circonstance que ces séismes sont fréquemment inscrits avec des phases à impetus particulièrement nets, le dernier d'entre eux n'étant pas rendu flou par les ondes de surface (comme cela a lieu dans les chocs normaux).

Pour les buts préliminaires, les résidus de temps des P observés ont été portés en graphique pour tous les séismes étudiés. La dispersion résultante ne montre d'écart systématique à aucune distance épacentrale et conséquemment n'amène à aucune revision des temps de propagation pour P.

Les résidus correspondants pour S montrent une manière d'être plus complexe. Comme on l'a dit plus haut, il y a beaucoup d'observations tardives de S aux distances de 45° à 55° . Jusqu'à présent, il n'est pas possible de décider à l'aide de ces données s'il y a une petite phase S suivie 8 ou 10 secondes plus tard d'une grande phase S_2 , ou si les temps de propagation calculés sont en fait trop précoces.

Les mêmes remarques s'appliquent à S dans le voisinage de 70° . Dans ce cas, ScS est fréquemment pris pour S. La table LIII donne les résidus moyens pour diverses autres phases, tels qu'ils sont déterminés par les divers séismes utilisés. Il faut remarquer que les résidus pour pP et sP sont

particulièrement petits. D'un autre côté, sS montre une allure analogue à celle de S.

Pour les séismes choisis, les lectures de toutes les phases dépouillées ont été portées en courbes. On constate que toutes ces phases qui sont rapportées de manière convenable se placent sur des courbes de temps de propagation bien identifiées. En général, les phases ainsi identifiées sont celles que l'on peut s'attendre à voir bien observées.

L'existence apparente de multiplicité dans les phases S pose la question de savoir si cette multiplicité est un phénomène qui se produit plus généralement dans les séismes à foyer profond que dans les séismes normaux (*On seismic Waves*, I, sect. XXVIII).

Pour en décider définitivement, il faudrait avoir recours à l'étude des données pour un grand nombre de séismes à foyer profond ; pourtant, on peut tirer quelques conclusions, au moins provisoires, en partant de l'examen d'un nombre limité de séismogrammes. Tandis que dans les inscriptions d'instruments à longue période il y a de fréquentes indications de multiplicité en P sous la forme d'impetus nets qui n'ont pas été identifiés avec des phases connues (comme PcP, pP, etc.), les inscriptions d'instruments à courte période montrent beaucoup moins de mouvement de ce caractère.

Il y a lieu de remarquer que les ondes à courte période emportent une bien plus grande fraction de l'énergie dans les séismes à foyer profond que dans ceux qui sont normaux.

Les cas où le premier impetus de P est faible, tandis que la dernière onde de ce groupe multiple est plus grande, arrivent rarement, si même il en existe. La discussion sur la multiplicité possible dans les autres phases exige des mesures plus détaillées. L'existence de pP, sP, etc., a quelque rapport avec la multiplicité trouvée dans les choes normaux. Comme cela a déjà été reconnu par Berlage (14), ces phases devraient pouvoir être observées et elles doivent expliquer une partie de la multiplicité constatée. Les causes qui pro-

duisent la multiplicité dans les P directs peuvent aussi agir sur pP et sP, et un nombre considérable d'ondes observées séparables peuvent surgir de cette manière. Pourtant ce type d'explication ne peut pas du tout valoir pour les membres très tardifs de ce groupe multiple P, observé fréquemment dans les choes normaux, qui arrivent souvent plus qu'une minute après le premier impetus P. Ainsi, pour un séisme à la profondeur normale d'environ 25 km., les données utilisées dans ce mémoire fixent la valeur de pP-P à environ 8 secondes et sP-P environ 10 secondes ; ces différences doivent cependant varier notablement avec les structures locales de l'écorce dans la région épiscopentrale.

Dans *On seismic Waves*, II, section IV, nous avons attiré l'attention sur le fait que les séismes à foyer profond provenant de régions particulières sont régulièrement inscrits à Pasadena avec un type uniforme de mouvement initial (compression de quelques régions, dilatation d'autres) et que la prédominance des compressions ou dilatations est la même pour les choes normaux dans la même région. Cette relation a persisté pour les grands choes à foyer profond inscrits depuis la publication précédente, durant la période additionnelle du 1^{er} janvier 1935 au 1^{er} mai 1936.

En comprenant ceux-ci, il y a maintenant dix-neuf grands séismes à foyer profond de l'Amérique du Sud, tous inscrits avec dilatation initiale à Pasadena ; quatorze choes viennent de Polynésie (en excluant Samoa), dont onze donnent une compression, et six de la région de Samoa, dont cinq avec dilatation initiale.

Tous les sept séismes de l'Hindou-Kouch semblent avoir été inscrits régulièrement avec des compressions initiales aux stations européennes, pour autant que les données aient été à notre disposition.

Ces sept séismes ont été choisis parmi un nombre considérablement plus grand de séismes ayant soit le même foyer, soit un foyer très rapproché. Il semble que la production répétée de séismes du même foyer profond est un phéno-

mène assez fréquent. Dans quelques cas, les derniers faibles séismes peuvent à peine être considérés autrement que comme des répliques ; mais la plupart des cas bien établis se rapportent à l'occurrence répétée de violentes secousses, souvent à des intervalles de temps considérables.

La distribution géographique des foyers profonds demeure bien définie et le devient d'autant plus avec l'augmentation de nos connaissances que les cas douteux ont été éliminés.

Quelque confusion est résultée de ce fait qu'apparemment les séismes à profondeur légèrement supérieure à la normale, jusqu'à l'ordre de 100 km., se produisent occasionnellement dans presque toutes les régions séismiques du globe.

Les séismes à foyer d'environ 200 km. de profondeur ne semblent pas être distribués aussi largement que les séismes normaux, mais ils sont fréquemment trouvés dans des régions où jusqu'à présent rien ne démontre l'existence de foyers très profonds. Par exemple, de tels séismes se produisent dans la Méditerranée orientale ou autour d'elle, dans l'Hindou-Kouch et dans l'Atlantique du Sud (séisme du 14 mai 1935). Pour autant qu'on peut le savoir actuellement, les séismes dont l'origine est aux profondeurs les plus grandes (400 à 800 km.) sont confinés dans quelques régions adjacentes au bassin Pacifique, Kamtchatka et îles Kouriles, Mandchourie, Japon et, du côté sud, Indes orientales et Polynésie jusqu'à la région Tonga-Kermadec et Amérique du Sud-Ouest.

L'aire de l'Amérique du Sud semble être tout à fait isolée des autres régions nommées : les séismes à foyer réellement profond ne sont connus ni de l'Amérique du Nord ou de la région de l'Antarctique ni de l'océan Pacifique Sud-Est.

Dans l'Amérique du Sud et le Japon (15) et les régions contiguës, les épicentres sont généralement d'autant plus éloignés du bassin de l'Océan que l'on constate une plus grande profondeur de foyer. Dans ces régions, la profondeur et la distance de la ceinture côtière des séismes normaux sont du même ordre. Probablement y a-t-il une relation similaire

pour la région polynésienne, où la limite des épicentres normaux, analogue aux bandes d'épicentres normaux le long des côtes de l'Amérique du Sud et du Japon, passe au nord du groupe principal des îles Polynésiennes et ensuite tourne brusquement au sud à travers les profondeurs du Tonga et de Kermadec.

La région des fréquentes secousses à foyers très profonds, centrée approximativement à 25°S , 175°E , est à plusieurs centaines de kilomètres à « l'intérieur des terres » à partir de cette limite. Pour les autres régions désignées, spécialement pour les Indes orientales, la corrélation entre les épicentres de séismes profonds et normaux est plus difficile, parce que les épicentres des deux groupes sont dispersés sur une aire d'étendue considérable.

Plusieurs auteurs ont fourni des données statistiques pour la distribution de la fréquence des séismes avec la profondeur. A partir de leurs résultats, il n'est guère possible de décider si le nombre des séismes décroît d'une manière continue quand la profondeur croît, ou s'il y a un maximum à quelque grande profondeur.

Il est vraisemblable que des profondeurs particulières sont caractéristiques de certaines régions. Il faut avoir présent à l'esprit que les statistiques de séismes à foyer profond peuvent changer notablement au cours du temps, à mesure que de nouvelles données viennent s'ajouter.

Les foyers les plus profonds trouvés jusqu'à présent sont à des profondeurs d'environ 700 km. ; cependant quelques-uns de ces séismes à ces profondeurs extrêmes se trouvent parmi les plus grands.

Le problème du mécanisme causant ce genre de séismes n'a pas été jusqu'ici résolu complètement. La figure complexe des compressions et dilatations initiales observées et l'observation fréquente de grandes ondes de cisaillement (S) rendent improbables des explications basées sur des origines du type explosions ou affaissements. Il semble que le mouvement à l'origine est accompagné d'un cisaillement.

La distribution géographique des séismes inscrits avec compression ou dilatation initiale à Pasadena indique que, en général, ce mouvement de cisaillement ou de fendillement (faulting, production de failles) a la même direction sur de larges étendues, s'étend sur de longues périodes et est fréquemment de même nature pour toutes les profondeurs focales dans la région considérée (y compris les séismes normaux).

Le fait que de grandes tensions peuvent s'accumuler à de grandes profondeurs n'implique pas nécessairement de grandes forces de résistance à ces profondeurs, car, comme l'a montré Haskell (16), le coefficient élevé de viscosité empêche la rapidité des coulées, même s'il n'y avait pas de résistance.

Comme on le voit, par la récurrence de secousses au même foyer, il ne faut qu'un petit nombre d'années pour l'accumulation de tensions suffisantes pour produire de grands tremblements de terre. D'un autre côté, pendant un tel intervalle de temps, théoriquement une petite fraction seulement de cette tension sera égalisée par une coulée plastique. Les calculs de Haskell montrent de plus que les forces à la surface sont accompagnées de forces qui ne sont que légèrement plus faibles aux profondeurs de quelques centaines de kilomètres et vice versa. Ceci pourrait expliquer la production de tremblements de terre superficiels ou profonds dans les mêmes régions. Les résultats trouvés par Stetson (17) relativement à une relation périodique des tremblements à foyer profond avec les marées pourraient aussi être expliqués dans cet ordre d'idées.

La conclusion la plus probable, dans l'état actuel de nos connaissances, est que les tremblements de terre normaux ou à foyers profonds sont dus aux mêmes forces qui peuvent agir soit au voisinage de la surface, soit aux grandes profondeurs.

NOTE ADDITIONNELLE

CALCUL DES TEMPS POUR pP, sS, sP, pS

Dans la figure, G sera l'hypocentre d'une secousse à la profondeur A , pour laquelle les temps de propagation de P et S sont connus. Admettons qu'il s'agisse d'un choc normal, à la profondeur généralement admise de 25 km. H sera un autre hypocentre à la profondeur B (qui pourra être 100, 200, 300 km.). Considérons le rayon passant par G et par H . Pour l'hypocentre H , la durée de propagation jusqu'à une station éloignée, le long de ce rayon, sera diminuée du temps de trajet le long de GH , et la distance sera diminuée de DE (D , E étant les épicentres correspondant à G , H). Le temps de G à H est

$$\int_A^B \frac{dr}{v \cos i}$$

et la distance DE est exprimée par

$$\int_A^B \frac{\tan i}{r} dr$$

C'est-à-dire que si, pour la profondeur A , le temps de propagation est t à la distance Δ , pour la profondeur B le nouveau temps

$$\text{sera } t - \int_A^B \frac{dr}{v \cos i} \text{ à une distance } \Delta - \int_A^B \frac{\tan i}{r} dr.$$

En faisant varier les hypothèses (angle initial d'incidence, ou mieux distance épicentrale initiale à G), on peut construire entièrement la courbe pour la profondeur B sans qu'aucune approximation soit nécessaire.

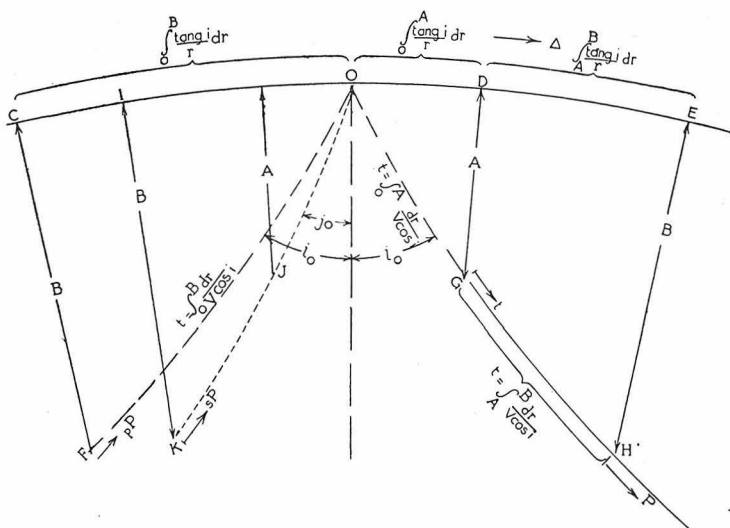
La figure montre que les temps de pP peuvent être calculés en adoptant une manière de procéder analogue.

Si l'hypocentre F est à la profondeur B , le trajet de pP est

$FOGH$, de sorte que le temps de propagation de l'onde pP issue de F est égal à celui de P issu de G , plus les durées de propagation le long de FO et OG ; et la distance correspondante est celle de G augmentée de CO et OD . La durée le long de $FO + OG$ est

$$\int_0^B \frac{dr}{v \cos i} + \int_0^A \frac{dr}{v \cos i}$$

$$\text{et } CO + OD = \int_0^B \frac{\tan g i}{r} dr + \int_0^A \frac{\tan g i}{r} dr.$$



Par conséquent, si, pour une profondeur A , nous connaissons le temps de propagation de P à la distance Δ , nous aurons, à la profondeur B , le temps de propagation de pP , soit :

$$t + \int_0^B \frac{dr}{v \cos i} + \int_0^A \frac{dr}{v \cos i}$$

à la distance

$$\Delta + \int_0^B \frac{\tan g i}{r} dr + \int_0^A \frac{\tan g i}{r} dr.$$

C'est là le résultat indiqué dans le texte du mémoire et ici encore aucune approximation n'est introduite.

Le processus pour S et sS est exactement le même que pour P et pP. Pour sP et pS il est plus compliqué, et il nous semble que la meilleure manière de l'expliquer consiste à donner un exemple particulier.

Supposons que nous désirions calculer les temps pour une profondeur focale de 300 km., en partant de ceux d'une secousse normale, à la distance $\Delta = 45^\circ$. Le tableau V de *On seismic Waves*, I, indique, comme temps de propagation de P dans ce cas, 8 m. 20 s. Le temps correspondant de S est indiqué dans le tableau XIX de *On seismic Waves*, II, soit 14 m. 54 s. La quantité $1/\bar{v}_{40}$ est 0.0726 pour P et 0.127 pour S (tableaux XVI et XX, *On seismic Waves*, II).

Les corrections à apporter au temps et à la distance pour arriver au cas d'une profondeur focale de 300 km. sont fournies par les tableaux I, II, III et IV du présent mémoire. Les résultats sont :

	Distance degrés	Temps min. : sec.
P pour une secousse normale	45.0	8:20
Correction <i>GH</i> (tables Ia, IIa)	—1.9	—0:43
P pour la profondeur de 300 km.	43.1	7:37
P pour une secousse normale	45.0	8:20
Correction <i>GOF</i> (tables Ib, IIb)	2.1	0:52
pP pour la profondeur de 300 km.	47.1	9:12
S pour une secousse normale	45.0	14:54
Correction <i>GH</i> (tables IIIa, IVa)	—1.8	—1:15
S pour la profondeur de 300 km.	43.2	13:39
S pour une secousse normale	45.0	14:54
Correction <i>GOF</i> (tables IIIb, IVb)	2.1	1:32
sS pour la profondeur de 300 km.	47.1	16:26

Pour calculer les temps de sP, considérons l'hypocentre *K* à la profondeur *B*. Le trajet *KO* correspond à des vibrations transversales et le trajet *OG* à des longitudinales. Prenons un point *J* à une profondeur *A* sur *KO*.

Soit ω la vitesse des ondes transversales, ν la vitesse des ondes longitudinales, ω_0 et ν_0 leurs valeurs à la surface, $\bar{\omega}$ et $\bar{\nu}$ les vitesses apparentes, j_0 l'angle d'incidence du rayon KO à la surface, i_0 l'angle d'incidence du rayon OG . Dans ce cas

$$\frac{\sin j_0}{\sin i_0} = \frac{\omega_0}{\nu_0}$$

D'autre part, quelle que soit la profondeur envisagée sur le rayon considéré, on a à la surface les relations

$$\bar{\nu} = \frac{\nu_0}{\sin i_0}, \quad \bar{\omega} = \frac{\omega_0}{\sin j_0}$$

Les trois égalités précédentes conduisent à

$$\bar{\omega} \text{ pour } KO = \bar{\nu} \text{ pour } OG.$$

Il suit de là que, pour calculer sP, nous utilisons, pour toutes les opérations du calcul, la vitesse apparente de l'onde longitudinale passant par G et H , tandis que pour pS nous utilisons celle de l'onde transversale correspondante; dans notre exemple, exemple, ces quantités sont respectivement les inverses de 0.0726 et 0.127.

	Distance degrés	Temps min. : sec.
P pour une secousse normale	45.0	8:20
Correction GO (tables Ia, IIa, $H = 0$)	0.1	0:05
Correction OJ (tables IIIa, IVa, $H = 0$)	0.1	0:07
Correction JK (tables IIIa, IVa, $H = 300$)	0.8	1:05
sP pour la profondeur de 300 km.	46.0	9:37

Si, en partant de ces données, nous essayons de calculer un point correspondant pour pS, nous trouvons que dans les tableaux I et II, qui devraient donner les deux dernières corrections, aucun chiffre n'est indiqué pour la vitesse apparente réciproque que l'on cherche ici, 0.127. pS n'existe pas pour la distance et la profondeur données (cf. tableau XVI).

On peut obtenir un autre exemple pour pS en calculant pour une distance de 90° et une profondeur focale de 300 km. Nous avons $1/\bar{\nu}_{40} = 0.091$.

	Distance degrés	Temps min. : sec.
S pour une secousse normale	90.0	23:54
Correction (tables IIIa, IVa, $H = 0$)	0.1	0:08
Correction (tables Ia, IIa, $H = 0$)	0.1	0:05
Correction (tables Ia, IIa, $H = 300$)	3.0	0:52
pS pour la profondeur de 300 km.	93.2	24:59

Les résultats individuels obtenus par cette méthode de calcul différeront souvent, de quelques secondes des résultats qui figurent dans les tableaux du mémoire ; ces derniers sont, en effet, basés sur des courbes améliorées par le sentiment de continuité correspondant aux tableaux I à IV et ont été ensuite soumises à une nouvelle amélioration à l'aide du tableau V.

RÉFÉRENCES

1. GUTENBERG (B.) and RICHTER (C. F.), *On seismic waves*. — Gerlands Beitr. z. Geophys., 43, p. 56-133 (1934).
2. ID., second paper, 45, p. 280-360 (1935).
3. ID., third paper, 47, p. 73-131 (1936).
4. ID., *Contribution to the study of deep focus earthquakes*. — Gerlands Beitr. z. Geophys., 41, p. 160-169 (1934).
5. GUTENBERG (B.), *Die Mitteleuropäischen Beben... I : Bearbeitung der instrumentellen Aufzeichnungen*. — Veröff. Zentralbüro der Int. Seismol. Assoc. (Strassburg, 1915).
6. GALITZINE (B.), *Zur Frage der Bestimmung der Herdtiefe eines Bebens und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen...* — Nachr. der Seismol. Kommission, 5, p. 359-430 (1912).
7. SOHON (F. W.), *A first approximation for deep focus seismograms*. — Bull. Seismol. Soc. of America, 25, p. 311 (1935).
8. GUTENBERG (B.) and RICHTER (C. F.), *On P'P' and related phases*. — Gerlands Beitr. z. Geophys., 41, p. 149-159 (1934).
9. HAYES (R. C.), *A new phase in deep-focus earthquakes*. — Dominion Observatory Wellington, Bull. 107 (1936).
10. SCRASE (F. J.), *The characteristics of a deep focus earthquake*. — Philos. Transact. Roy. Soc. London (A), 231, p. 207-234 (1933).
11. STECHSCHULTE (V. C.), *The Japanese earthquake of March 29, 1928, and the problem of depth of focus*. — Bull. Seismol. Soc. of America, 22, p. 81-137 (1932).
12. JEFFREYS (H.), *Some deep focus earthquakes*. — Monthly Not. Roy. Astron. Soc. Geophys. Supplem., 3, p. 310-343 (1935).
13. *Mitteilungen der Deutschen Erdbebenwarten über die Aufzeichnungen des Bebens vom 15. Nov. 1921*. Tafel XVI-XIX (Hauptstation für Erdbebenforschung in Jena 1922). See also two seismograms in « Handbuch der Geophysik », vol. 4, fig. 87, p. 194.
14. BERLAGE (H. P.), *Sur la profondeur du foyer d'un tremblement de terre déduite d'un séismogramme...* — Publ. Bureau centr. séismolog. int. (A), 1, p. 5-16 (1924). — Handbuch der Geophysik, 4, p. 501 (1932).
15. WADATI (K.), *On the activity of deep-focus earthquakes in the Japan Islands and neighbourhoods*. — The Geophysical Magazine, 8, p. 305-326 (1935).
16. HASKELL (H.), *The motion of a viscous fluid under a surface load*. — Physics, 6, p. 265-269 (1935), and 7, p. 56-61 (1936).
17. STETSON (H. T.), *The correlation of deep-focus earthquakes with lunar hour angle and declination*. — Science, 82, p. 523-524 (1935).